Г. Е. Горелик В. Я. Френкель

Матвей Петрович

БРОНШТЕЙН

SHOUT
SHARE
IT

- Матвей Петрович Бронштейн
  -
  - Предисловие
  - Глава 1. Детство и юность. Путь в науку. Первые научные работы
  - Глава 2. В Ленинградском университете (1926-1930 гг.)
    - 2.1. В университет
    - 2.2. Джаз-банд
    - 2.3. Аббат и его друзья астрономы
    - 2.4. Первые работы по астро-, гео- и популярной физике
    - 2.5. У Шенроков на Васильевском
  - Глава 3. В Ленинградском физико-техническом институте
    -
    - 3.1. Теоретическая физика в Петербурге и Петрограде
    - 3.2. ФТИ и его семинары
    - 3.3. «Квантование свободных электронов в магнитном поле»
    - 3.4. «Новый кризис в теории квант»
    - 3.5. Наука и общество
    - 3.6. Квантовая механика в начале 30-х годов
    - 3.7. Космология в начале 30-х годов
    - 3.8. Эфир и теория относительности
    - 3.9. Поколения и стили
    - 3.10. Физика полупроводников и ядерная физика
  - Глава 4. О трудных временах для законов сохранения и о трудной профессии физика-теоретика
    -
    - 4.1. Три попытки пошатнуть закон сохранения энергии
    - 4.2. Гипотеза несохранения и мотивы ее сторонников
    - 4.3. Нефизические доводы в физике
    - 4.4. Дуэль в «Сорене»
    - 4.5. Конец гипотезы несохранения
  - Глава 5. cGh-физика в биографии Бронштейна
    -
    - 5.1. Недиссертабельная диссертация
    - 5.2. Корни интереса к cGh-физике

        - 5.3. Квантовая теория слабого гравитационного поля
        - 5.4. «...Принципиальное различие между квантовой электродинамикой и квантовой теорией гравитационного поля». Квантово-гравитационные границы
        - 5.5. Физика и космология
    - Глава 6. Стиль творческой личности
        - 6.1. Мировосприятие
        - 6.2. Призвание педагога
        - 6.3. Наука и литература
        - 6.4. Личность
    - Послесловие
    - Библиография
        - Принятые сокращения
        - Работы М. П. Бронштейна
            - Научные статьи и обзоры
            - Статьи в энциклопедиях
            - Рецензии
            - Редактирование
            - Научно-популярные статьи и книги
            - Научно-художественные книги[67]
        - Использованная литература
    - Приложение. Две статьи М. П. Бронштейна из журнала «Человек и природа» за 1929 год
        -
        - М. П. Бронштейн. Всемирное тяготение и электричество (Новая теория Эйнштейна)[68]
        - М. П. Бронштейн. Эфир и его роль в старой и новой физике [69]
    - Фотографии и рисунки
    - Даты жизни Матвея Петровича Бронштейна
    - Научное издание
- notes
    - 1
    - 2
    - 3
    - 4
    - 5
    - 6
    - 7
    - 8
    - 9
    - 10

- ○ 11
- ○ 12
- ○ 13
- ○ 14
- ○ 15
- ○ 16
- ○ 17
- ○ 18
- ○ 19
- ○ 20
- ○ 21
- ○ 22
- ○ 23
- ○ 24
- ○ 25
- ○ 26
- ○ 27
- ○ 28
- ○ 29
- ○ 30
- ○ 31
- ○ 32
- ○ 33
- ○ 34
- ○ 35
- ○ 36
- ○ 37
- ○ 38
- ○ 39
- ○ 40
- ○ 41
- ○ 42
- ○ 43
- ○ 44
- ○ 45
- ○ 46
- ○ 47
- ○ 48
- ○ 49
- ○ 50
- ○ 51
- ○ 52
- ○ 53
- ○ 54

- ○ 55
- ○ 56
- ○ 57
- ○ 58
- ○ 59
- ○ 60
- ○ 61
- ○ 62
- ○ 63
- ○ 64
- ○ 65
- ○ 66
- ○ 67
- ○ 68
- ○ 69

Матвей Петрович Бронштейн

В книге рассказывается о жизни и творчестве замечательного советского физика-теоретика М. П. Бронштейна. Наиболее важный его вклад в науку — первое глубокое исследование квантования гравитации. Полученные им результаты стали особенно актуальны в наше время, когда построение квантовой теории гравитации насущно необходимо для космологии и физики элементарных частиц. Бронштейну также принадлежат важные работы в релятивистской космологии, астрофизике, теории полупроводников. Написанные им замечательные научно-популярные и научно-художественные книги переиздаются в наши дни.

Книга рассчитана на читателей, интересующихся историей советской науки.

Горелик Геннадий Ефимович, Френкель Виктор Яковлевич

Матвей Петрович Бронштейн (1906-1938)

МОСКВА «НАУКА»
1990

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

Серия «Научно-биографическая литература»
Основана в 1959 г.

Предисловие

Читателю серии, в которой издается эта книга, вряд ли надо объяснять, что подлинную, живую биографию физики можно узнать только с помощью биографий людей, которые физику делали. Хотя, разумеется, в жизни не каждого работника науки проявляются самые характерные черты эпохи,— можно честно и с пользой трудиться в узкой области, лишь слабо отзываясь на главные события в жизни науки.

На обширной территории, которую занимала теоретическая физика 30-х годов, для Матвея Петровича Бронштейна практически не было незнакомых областей. Его научные интересы охватывали космологию и ядерную физику, гравитацию и полупроводники, физику атмосферы и квантовую электродинамику, астрофизику и релятивистскую квантовую теорию. Все, кто общался с М. П. Бронштейном, говорят о поразительной его образованности, огромном объеме глубоко продуманных и прочувствованных знаний (далеко выходящих за пределы ремесла физика-теоретика). Поэтому в научной биографии Бронштейна отразились многие важные события теоретической физики 20—30-х годов.

Тот, кому имя М. П. Бронштейна говорит немногое, может усомниться, что в биографии со столь близко расположенными крайними датами успели запечатлеться черты, характерные для физики того времени в целом. Мало кто из физиков (в отличие, скажем, от математиков и поэтов) успевает к тридцати годам сделать главные работы, с которыми связываются в истории их имена. И все же в три десятилетия жизни М. П. Бронштейна успело вместиться многое. Об этом свидетельствует и то, что для его биографии нашлось место в Большой Советской Энциклопедии, и то, что Игорь Евгеньевич Тамм, говоря о первом поколении физиков, получивших образование в советское время, назвал Бронштейна в числе «исключительно ярких и многообещавших» теоретиков [268].

В 1979 г., к столетию Эйнштейна, был издан сборник важнейших работ в истории современной теории гравитации [90]. Среди них есть и работа героя нашей книги. Это первое глубокое исследование проблемы квантования гравитации, приведшее к важным физическим результатам. Об истории этой работы, ее смысле и значении подробно будет говориться в дальнейшем. Но уже здесь следует сказать, что работа по квантованию гравитации, которой суждено было стать важнейшим научным достижением М. П. Бронштейна, принадлежит вовсе не только

истории. Проблема построения квантовой теории гравитации — одна из важнейших для современной фундаментальной физики. Конечно, за пять десятилетий очень сильно изменилось понимание этой проблемы и путей ее решения, но одна из самых существенных ее особенностей, обнаруженная Бронштейном еще в 1935 г., остается неприступной для теоретиков и поныне, хотя и в других, современных обличьях. Речь идет о несовместимости классической релятивистской теории гравитации (общей теории относительности) и квантовой теории. Эту несовместимость точным физико-математическим анализом и обнаружил М. П. Бронштейн полвека назад. Он впервые осознал, что подлинный синтез релятивистских и квантовых идей, включающий в себя квантовую теорию гравитации, потребует глубокой перестройки понятий пространства и времени.

Изменяя эти фундаментальные понятия, Эйнштейн, как известно, достиг выдающихся физических результатов (связь пространства и времени в теории относительности, искривленное пространство-время в теории гравитации). Поэтому не удивительно, что впоследствии физики не раз выдвигали предположение о «пространственно-временном» решении фундаментальных физических проблем. Однако все такие прогнозы смывались потоком развивающихся физических идей и экспериментов. Все, за исключением квантово-гравитационного, который впервые был сделан Бронштейном в 1935 г. И хотя прогнозы не вполне законная часть физической теории, сейчас, как никогда раньше, крепка уверенность, что построение квантовой теории гравитации станет одним из самых замечательных событий в истории теоретической физики и, в частности, в развитии представлений о пространстве и времени.

Биографии замечательных людей не просто украшают историю человечества. Они помогают историю лучше понять. Время, в котором прошла жизнь Бронштейна,— это чрезвычайно интересный и важный период в истории нашей страны. И многое в биографии М. П. Бронштейна было созвучно эпохе. Поэтому, рассказывая о нем, неизбежно придется рассказывать о его времени, об окружавших его людях. Биографический жанр вообще подчиняется закону, напоминающему квантовый принцип неопределенности (который, кстати, именно в занимающую нас эпоху был выдвинут и утвержден). Чем точнее пытаются локализовать жизненный путь героя, изолируя его от окружающих людей, тем менее определенными, менее осмысленными становятся «динамические» характеристики «биографируемой» личности — ее устремления и действия. Только в биографической механике, в отличие от квантовой,

вместо универсальной планковской константы должна стоять, скорее, величина, характеризующая данного человека, степень его социальности, попросту говоря — число друзей и недругов, число людей, для которых его существование было фактом не только юридическим, но и биографическим.

Своими воспоминаниями о М. П. Бронштейне с нами поделились больше двух десятков человек. Не сразу мы привыкли к тому, что люди, обремененные годами, высокими академическими званиями, ответственными обязанностями, сразу же откладывали свои дела для того, чтобы рассказать, написать о Матвее Петровиче. Письма, которые мы получали из Бюракана, Минска, Оксфорда и Свердловска, беседы с его друзьями и коллегами в Москве и Ленинграде, слова, которые они находили, и стремление помочь представить душевный облик и научный темперамент М. П. Бронштейна — все это говорило нам о яркой личности, впечатления от которой не угасли за пятьдесят лет. При этом было ясно, что тут не просто желание рассказать о событиях своей молодости. Чувствовалось, что им особенно хочется оживить образ Матвея Петровича, что они считают это своим долгом.

Мы будем опираться на эти рассказы, рассказы его родных и друзей, коллег, тогдашних аспирантов и студентов, бережно хранящих воспоминания о нем, оттиски его работ и книги с дарственными надписями, конспекты его лекций и стихотворные импровизации. Для одних он был Митя, для других — Аббат (студенческое прозвище, о происхождении которого мы еще расскажем), для остальных — «эм пэ» и Матвей Петрович.

В его лекциях, статьях и книгах, о которых говорят с восхищением, научный потенциал соединялся с даром слова. Ему нравилось мысли и чувства воплощать в зримые и звучащие слова. Поэтому он с удовольствием занимался преподаванием и популяризацией науки. Первую научную работу он опубликовал в 18 лет (еще до поступления в университет), а первую научно-популярную книгу всего через четыре года.

Высочайшая научная квалификация, педагогический, «объяснительный» талант, энтузиазм просветителя и литературный дар — это сочетание сделало Бронштейна замечательным лектором и мастером изложения. Из-за того же сочетания М. П. Бронштейн оказался у истоков советской научно-художественной литературы для юных читателей — самых главных, быть может, читателей вообще. Его книги не состарились и принадлежат истории литературы не в меньшей мере, чем истории науки. Впрочем, не только истории. Иначе они не переиздавались бы спустя многие десятилетия после смерти их

автора. Первым выпуском широко известной сейчас «Библиотечки "Квант"» стало переиздание его книги 1935 г. Основатель и главный редактор «Библиотечки "Квант"» И. К. Кикоин хотел, чтобы первый выпуск стал эталоном, образцом в нескольких смыслах: книжка написана активно работающим физиком-профессионалом, написана увлекательно, «детективно», автор не боялся высказывать мнение о совсем недавних событиях, о нерешенных проблемах.

Неравнодушие Бронштейна к языку проявлялось не только в его популярных статьях и книгах. Впервые читая его научные статьи, временами невольно настораживаешься — выразительные средства заметно богаче обычного для научных журналов. Так уж водится, что красноречие в науке чаще всего прикрывает недостаточную продуманность идей или их отсутствие. Если же внимательно присмотреться к более свободному, чем обычно, языку статей Бронштейна, легко убедиться, что эта свобода не самоцель. Она, как и положено в идеале, лишь средство, средство выражения. Она не отвлекает, а увлекает, концентрирует и направляет внимание.

В наше время в научной литературе господствует нарочито бесстрастный сухой и скудный язык, почти сводящийся к выражениям «если... то... » и математическим значкам. Этот язык как будто предназначен для демонстрации того, что наука — дело на редкость скучное и холодное. Безликость нематематической компоненты физической статьи — это, разумеется, оборотная сторона действующего в науке стремления к точности и однозначной определенности. И к такому языку физик, как правило, привыкает быстро. Но этим правилам приличия, которые можно назвать правилами безличия, М. П. Бронштейн не подчинялся. Он этих правил просто не замечал. Разумеется, в его физических статьях основной объем занимают стройные ряды формул (в полном соответствии с характером теоретической физики XX в.), но он мог, например, в ЖЭТФе по поводу превращения фотонов в гравитоны процитировать Ньютона, в другой статье наиболее патетический абзац (по физическому содержанию) завершить немецкой поговоркой, вместо стандартно-осторожного «есть основания думать» писать просто «я думаю», озаглавить параграф «Немного мысленно поэкспериментируем!» и т. д. Когда об этом говоришь физикам, знавшим Бронштейна, они невозмутимо отвечают: «Это же был эм пэ. Бронштейн имел право писать так, как он считал нужным». Право это ему не пришлось завоевывать, оно было за ним молчаливо признано вместе с его физико-математической квалификацией в самом начале его научного пути. И это лишь

одно из следствий его многосторонней и гармоничной незаурядности.

Среди тех, кто нам рассказывал о Матвее Петровиче Бронштейне, и видные физики, уже вошедшие в историю науки и удостоенные высших научных званий, и люди, связанные с физикой лишь косвенно, но ощутившие человеческий талант М. П. Бронштейна. Их рассказы, рассказы людей, повидавших на своем жизненном пути немало замечательных личностей, их отношение к памяти о Бронштейне служили сильным стимулом при создании этой книги. Чтобы не утяжелять текст, мы не всегда прямо указываем авторов устных рассказов и писем, на которых основано изложение (если это можно понять из контекста). Особенно многим эта книга обязана брату Матвея Петровича — И. П. Бронштейну, его вдове — Л. К. Чуковской, его университетским товарищам — В. А. Амбарцумяну и Е. Н. Пайерлс (Канегиссер), его друзьям — Г. И. Егудину и С. А. Рейсеру, его аспиранту — А. Б. Мигдалу, его студенту — Я. А. Смородинскому.

Авторы глубоко благодарны всем, кто поделился воспоминаниями о Матвее Петровиче Бронштейне и о физике 20—30-х годов. В их числе, кроме уже названных, А. И. Ансельм, М. Г. Веселов, С. В. Вонсовский, И. И. Гуревич, Л. Э. Гуревич, Д. Д. Иваненко, И. К. Кикоин, А. А. Козырев, М. А. Корец, Р. Пайерлс, Л. М. Пятигорский, О. С. Равдель, И. Д. Рожанский, В. Я. Савельев.

Работе над книгой очень помогли критические замечания А. Б. Мигдала, полезные даже тогда, когда авторы не могли с ними согласиться. Авторы благодарны также Б. М. Болотовскому, В. П. Визгину, А. Б. Кожевникову, А. М. Ливановой, Б. Е. Явелову, А.К. Янковскому.

Особая благодарность сотруднице Архива АН СССР Г. А. Савиной, разыскавшей важные документы.

В конце книги помещена полная библиография М. П. Бронштейна. Ссылки на его работы не даются, если из текста ясно, о какой идет речь. Все пояснения в квадратных скобках принадлежат авторам.

Работа авторов над книгой распределялась следующим образом: совместно — 2.4, 3.4, 3.9, 5.1, 6.3; В.Я. Френкель - 2.1, 3.1, 3.2, 3.3, 3.10; Г. Е. Горелик — остальное.

Глава 1. Детство и юность. Путь в науку. Первые научные работы

Семью, в которой родился Матвей Петрович Бронштейн, можно назвать обыкновенной семьей, принадлежащей к провинциальной еврейской интеллигенции в пределах черты оседлости —1 черты, проведенной на карте России самодержавием[1]. Отец, Петр Осипович, был врачом. Происходя из семьи мелкого торговца, он все же смог кончить гимназию (в украинском городке Немирове) и медицинский факультет Киевского университета. Мать, Фани Моисеевна, систематического образования не получила, умела лишь читать и писать. Это была добрая, от природы очень деликатная женщина, свою жизнь посвятившая заботам о муже и детях. Детей в семье было трое. У Матвея Петровича был брат Исидор, младше его минут на десять, и сестра Михалина, старше их на четыре года. В то время, когда родились мальчики (2 декабря 1906 г.), семья жила в Виннице — уездном городе в центральной части Украины. Здесь же прошли первые девять лет их детства.

Согласно данным, накопленным генетикой, близнецы при рождении получают в среднем меньшее наследство (поскольку его приходится делить) и соответственно могут рассчитывать на меньшие достижения. В нашем случае эта закономерность подтвердилась только в отношении физических данных братьев — богатырским телосложением они не отличались. Что же касается интеллектуального «приданого», которое братья получили от родителей с благословения природы, то оно оказалось явно больше среднего. Сходство между братьями не было поразительным, но, как всегда у близнецов, в детстве они были неразлучны, жили общими интересами.

Впечатлений о жизни в Виннице у братьев почти не сохранилось. Наиболее сильные впечатления были связаны с книгами и с событиями духовного взросления.

Отец, хотя и получил высшее образование, наукой и литературой интересовался мало, мать была целиком поглощена благоустройством семейного быта. Однако детям покупали много книг, считалось, что это им надо. Действовал традиционный культ образования, сестра Михалина училась в гимназии. У отца, не имевшего особых трудностей в воспитании своих не по годам тихих и любознательных мальчиков, была только забота регулярно снабжать их книгами, среди которых были роскошные подарочные издания, посвященные славе русского оружия, книги

о путешествиях, о звездах и т. д.

По роду образования и в соответствии с духом времени отец был совершенно равнодушен к религии. Атеистических убеждений у него не было, просто он этим не интересовался. Поэтому в домашней жизни религиозные установления и обычаи предков игнорировались (впрочем, не демонстративно). Об этом, в частности, свидетельствует «нестандартность» имен, которые получили дети. Кстати, Матвея дома с самого детства звали Митей, вопреки всем законам русской ономастики. Так его впоследствии называли и близкие друзья, к удивлению всех, впервые слышащих, что Матвей и Митя — это один человек.

Размеренная и устроенная (а по детским воспоминаниям «серая и скучная») жизнь семьи была нарушена в августе 1914 г. С самого начала войны отец, как врач, был мобилизован в армию (вернулся он только через четыре года). Положение семьи значительно ухудшилось, и в 1915 г. мать с детьми, воспользовавшись тем, что высшее образование главы семьи делало черту оседлости проницаемой для них, переехала в Киев, к своему отцу, который был управляющим в доме богатого купца.

Дед был человеком религиозным, и, обнаружив безбожность воспитания мальчиков, он сразу же начал наставлять их на путь истинный. Перед братьями встала первая проблема мировоззренческого характера. Ее решение было важным событием их духовной жизни.

Это решение опиралось на ... эксперимент, который заключался в следующем. Надо встать в центре комнаты и громко крикнуть: «Бог — дурак!» Если богохульника сразу же не разразит гром небесный, то значит, это вовсе не богохульство, а просто проверка — рискованная, но зато прямая. Конечно, без теоретического анализа ситуации, сам по себе эксперимент мало в чем может убедить, даже если экспериментатору нет еще 13 лет. И умственное напряжение, с которым мальчики самостоятельно выработали убеждение, что «бога нет», запомнилось им надолго. Ну, а если у человека есть способность самостоятельно решать подобные сложные проблемы, то авторитет собственного деда, даже освященный многовековой традицией, значит немногое. И деду пришлось оставить своих внуков в покое. Тем более, что никаких других поводов для недовольства мальчики не давали. За ними почти не водилось детских шалостей, они любили читать и читали запоем.

Получилось так, что в средней школе братья не учились. В Виннице для гимназии они были еще малы, а в Киеве поступить в гимназию мешали сразу несколько причин: процентная норма (которая в Киеве была еще меньше, чем в черте оседлости),

весьма умеренный достаток семьи и возраст мальчиков. Каждое из этих препятствий в отдельности было, видимо, преодолимо. Сестра, например, кончала гимназию в Киеве, причем гимназию самую аристократическую — Ольгинскую (помогло то обстоятельство, что глава семьи служил отечеству в действующей армии). Самой серьезной преградой для поступления в гимназию был слишком юный возраст мальчиков. Однако было ясно видно, что их интеллектуальный возраст уже вполне достаточен для систематического образования. И было решено, что мальчики будут учиться дома, а экзамены в гимназии сдавать экстерном. Учились они по книгам, домой приходила только преподавательница французского языка. Братья сдавали последовательно экзамены (за первые три класса), получали пятерки, но заметного места в их жизни это не занимало. Мир, открывающийся перед ними в книгах, давал гораздо более сильные впечатления.

В 1917 г. вихрь истории смел социальный уклад старой России. Революция перестраивала все сферы жизни общества, Гимназию и реальное училище заменяла советская единая трудовая школа. В Киеве этой замене несколько лет мешали события гражданской войны. После того как в феврале 1918 г. здесь впервые была установлена Советская власть, город по очереди занимали войска Германии, гетмана Скоропадского, Директории, деникинцы и белополяки. Окончательно Советская власть в Киеве установилась только летом 1920 г.

Но и в школе нового типа братьям не пришлось учиться. В этом, впрочем, и не было необходимости. Они уже привыкли самостоятельно извлекать знания из книг. Научились справляться с потоком идей и фактов из разнообразных изданий, подобранных не педагогом, а самими юными книгоучками.

Грандиозные события, о которых рассказывалось в книгах, не шли в сравнение с событиями их обыденной жизни. Общение с природой ограничивалось тем, что происходило в замощенном дворе в центре Киева. Даже когда в голодные годы гражданской войны семья переехала поближе к природе-кормилице, в Пущу Водицу, ничего не изменилось — внимание души к цветам, деревьям, птицам и всему такому дремало. Впрочем, даже и такая — геометрическая — близость к природе длилась недолго,— спасаясь от петлюровских погромов, семье пришлось вернуться в центр города.

Возраст мальчиков и семейный уклад оберегали их от событий, происходящих за стенами дома, и мешали им разглядеть исторический масштаб этих событий. Пищу для ума и души они находили в книгах. Интересней всего им была История

людей — История с большой буквы — и все то, что люди — с увлекательными приключениями — старались понять и изменить в окружающем мире. Узнавать, как устроена Природа — тоже с большой буквы — было несравненно интереснее, чем безо всякого умственного напряжения любоваться небом и цветами. Природа состояла из звезд, планет, кристаллов, атомов, электричества... Только позже, после того как Митя в какой-то мере утолил жажду знаний, он стал замечать в природе и другое. Проснулось чувство, не разбуженное в детстве, заслоненное гораздо более сильными страстями. И он начал учиться отличать сосну от ели и овес от пшеницы. Начал учиться грести, ездить на велосипеде... Это оказалось тоже очень интересным.

А тогда, в самом начале 20-х годов, души мальчиков были целиком заполнены желаниями узнать, понять. Для другого просто не оставалось места.

Что же читали они тогда? Вначале — все, что попадалось: от истории Египта до теории множеств. Будущая энциклопедическая образованность Матвея Петровича свое начало брала с этого вольного плавания в море книжных знаний. Такие путешествия без карты и компаса кого-то могли бы сделать всезнайкой, слышавшим понемногу обо всем. Но Мите, с его интеллектом, великолепной, пожалуй, даже феноменальной памятью и силой духа, такие кругосветные плавания шли на пользу. Он узнавал многое об очень многом.

Разнообразие интересов со временем не уменьшалось, но быстро умневшие от книг и вызванных ими бесед мальчики постепенно учились находить каждый свою дорогу. Эти дороги начинали расходиться. На Митиной все чаще появлялись книги по физике и астрономии.

Книги попадались очень разные. Те, которые были изданы до революции, казались изданными несколько веков назад: роскошные переплеты с золотым тиснением, плотная бумага, гравюры. На одной из таких гравюр был изображен молодой человек в элегантном камзоле, с локонами до плеч. Сидя на изящной скамейке в яблоневом саду, подперев голову, он смотрел задумчиво вдаль. Вдали висела Луна, а вблизи висело яблоко. Человек этот был, разумеется, Исаак Ньютон. Он смотрел на Луну, на срывающееся с ветки яблоко и размышлял над тем, почему яблоко падает на Землю, а Луна — нет. Автор книги легким французским слогом рассказывал, как в результате размышлений, изображенных на гравюре, Ньютон открыл знаменитый закон всемирного тяготения. Как он понял, что и Луна упала бы на Землю, не будь у нее огромной скорости. Упала бы, по собственноручным расчетам автора, через 4 дня 19 часов

54 минуты 57 секунд. «Мы предоставляем читателю судить о том, как отразилось бы на Земле и на ее обитателях падение такого громадного шара с такой ужасной высоты»,— закончил главу автор.

О том же всемирном тяготении Митя читал и в книгах совсем других, напечатанных порой на газетной, быстро желтеющей бумаге, совсем без картинок и в жиденьких переплетах. Но в этих книжках, изданных в Петрограде, Одессе, Берлине (советские книги печатались тогда и в Берлине), о всемирном тяготении, или о гравитации, говорилось уже совсем по-другому. Говорилось о двумерцах, путешествующих по поверхности шара, о кривизне пространства и времени, о том, что в силу теории Эйнштейна возможна ситуация, когда человек, глядящий прямо перед собой в пустоту, видит собственные уши. Революционные физические теории, радикально преобразующие представления о пространстве, тяготении, атомах, свете, легко сопоставлялись с революционными социальными изменениями. В некоторых книжках даже чересчур легко.

Но где же брали книги эти ненасытные читатели? Домашняя библиотека исчерпалась быстро. В развалах у букинистов книги по точным наукам были далеко не в почете. Да и денег на покупку книг в семье не хватало. Поэтому главным источником знаний служили библиотеки, в 1921 г.— Городская публичная библиотека (ныне библиотека им. КПСС), до того, впрочем, момента, пока изменение правил не закрыло библиотеку для слишком юных читателей. Это изменение застало Митю за чтением «Популярной астрономии» Фламмариона, фрагмент которой был пересказан два абзаца тому назад. Книгу пришлось дочитывать в библиотеке Академии наук, где возраст читателя не был препятствием.

Но книги книгами, а для 16-летних юношей настала пора заботиться о своем жизненном положении — приобретать профессию. В 1923 г. братья поступили в электротехникум, однако уже в следующем году были вынуждены его оставить — заработка отца не хватало на содержание семьи. Петр Осипович, несмотря на свое мелкобуржуазное происхождение, был начисто лишен способностей к частной практике, да и весьма средняя его квалификация ничего особенного не обещала. Поэтому он довольствовался службой в государственном медицинском учреждении и соответственно небольшим окладом. Техникум братья покинули без сожаления: инженерно-технических склонностей у них не обнаружилось. Они пошли работать на завод.

Человек в 17 лет, однако, не живет только «насущными»

заботами, и братья продолжали искать свои пути. Эти пути впервые начали расходиться зримо. Видимо, генетическое различие братьев, умноженное на их возраст, стало ощутимой величиной. Собственно, некоторые признаки этого проявлялись и раньше. Как-то незаметно, даже для глаз брата, Матвей стал решительно обгонять его в точных науках. Случайно обнаружилось, что Матвей знает тригонометрию, которая брату была совершенно неизвестна. Так было и в других физико-математических областях. Это было странно, в семейных «начальных» условиях такого ничто не предвещало.

В 1924 г. Матвей узнал, что при университете действует кружок любителей физики, и стал его посещать, а Исидор, желая поскорее встать на ноги, поступил на курсы стенографии.

В этом месте, на развилке жизненных дорог братьев, расскажем кратко об Исидоре Петровиче, который многое дал этой книге и, к сожалению, не дождался ее появления (он умер в 1984 г.).

Осваивая стенографию, И. П. сразу придумал некоторые ее усовершенствования, и уже в 1925 г. учащийся И. Бронштейн совместно с несколькими преподавателями стал автором литографированного «Практического курса стенографии». В 1926 г. поступил в Киевский институт народного хозяйства, желая заняться математизацией экономической науки. После окончания КИНХа в 1930 г. и до пенсии работал экономистом в Киевских государственных архитектурных мастерских (с четырехлетним перерывом, связанным с войной), участвовал в разработке трех генеральных планов развития Киева. Работа и научные публикации И. П. Бронштейна были посвящены экономическому и демографическому обоснованию планов градостроительства.

Исидор Петрович считал, что творческий потенциал брата несравненно превосходил его собственный. Но и его незаурядность была видна невооруженному глазу. Он читал на десяти языках, именно читал, а не только «умел читать». Очень любил украинский язык, в 1941 г. была издана книга, переведенная им на украинский язык. Он удивительно хорошо для неспециалиста ориентировался в физике и ее истории (которыми стал активно интересоваться уже после смерти брата).

Ясный ум и непрерывная интеллектуальная активность были ему присущи до конца жизни. Когда ему было уже за шестьдесят, он выполнил самостоятельное и математически вполне добротное исследование в области комплексного анализа. Обширные интересы, далеко выходящие за пределы точных наук, отражала его огромная библиотека; в небольшой комнате коммунальной квартиры, где он жил, было около 20 тысяч книг. Книги по

истории, филологии, русская классика вместе с книгами по физико-математическим наукам образовывали мир, в котором он жил.

Жизнь его не щадила. Незаживающей раной была гибель 30-летнего брата. Не вынесли тягот двойной эвакуации (сначала на Северный Кавказ, потом в Астрахань) родители. С детства он страдал тяжелой формой заикания. Оно передалось и брату, у которого, однако, после лечения в 1922 г. почти полностью исчезло. А у Исидора Петровича это заболевание наложило отпечаток на всю его жизнь, препятствуя живому общению с людьми (он был вынужден предпочитать переписку), мешая ему делиться духовными богатствами с другими. Своей семьи у него не было.

Однако удары судьбы его не ожесточили. Общаясь с ним, нельзя было не ощутить светлую его душу, по-детски наивное и доброе отношение к людям. Был он деликатен, но не уклонялся от того, чтобы высказать свое мнение.

Кружок, в который осенью 1925 г. начал ходить Матвей Бронштейн, полностью назывался «физической секцией киевского студенческого кружка исследователей природы». Его руководителем и создателем был молодой физик Петр Саввич Тартаковский[2]. По характеру этот кружок был близок тогдашним «семинарам повышенного типа», которые готовили студентов к научной работе, давали возможность отбирать наиболее способных. Кружок предназначался прежде всего для студентов, но в те времена, когда в стране происходили интенсивные общественные процессы, границы

Не меньшую роль сыграла, конечно, личность руководителя кружка. Один из участников кружка профессор Д. Н. Наследов писал о Тартаковском: «Не могу забыть того внимательного и заботливого отношения, которое я всегда встречал со стороны Петра Саввича. Он заражал своим энтузиазмом, тщательно наблюдал за развитием научной мысли студентов, всегда и во всем шел навстречу людям, искренне желающим глубоко изучать физику. Это проявлялось решительно во всем: даже в мелочах... Не всегда ученые обладают способностью собирать вокруг себя молодежь, любить ее и заботиться о ее росте. Петра Саввича нельзя себе представить без окружающей его молодежи. Всю свою жизнь он стремился передать свои знания и опыт подрастающему поколению» [240].

Такое отношение сполна ощутил на себе Бронштейн. Он с благодарностью говорил о П. С. Тартаковском и спустя 10 лет в автобиографии 1935 г. не забыл указать: «Теоретической физикой начал заниматься еще до поступления в университет, сперва в Киеве — под руководством П. С. Тартаковского» [103].

Руководство это проявилось и в том, что с помощью Тартаковского он получил возможность заниматься в профессорском зале университетской библиотеки, где были прекрасные условия для работы: свой стол, на котором дожидались оставленные книги, и — немаловажное по тем временам обстоятельство — в зале этом было всегда тепло. Полученным правом заниматься в библиотеке Бронштейн (который тогда, напомним, не был даже студентом университета) пользовался очень усердно. И его участие в работе кружка очень быстро показало Тартаковскому, что он не ошибся в начинающем физике.

В кружке рассматривались и темы, относящиеся к классической физике (например, динамика бумеранга), и самые актуальные вопросы физики того времени. По-видимому, Тартаковский очень быстро обратил внимание на новичка: всего через несколько месяцев — в январе 1925 г.— «Журнал Русского физико-химического общества» получил первую статью М. Бронштейна «Об одном следствии гипотезы световых квантов» [1]. В работе, исходя из предположения о фотонной структуре излучения рентгеновской трубки и на основе законов сохранения энергии и импульса при взаимодействии электронов с атомами антикатода, была получена зависимость границы непрерывного рентгеновского спектра от угла излучения. Результат статьи состоял в том, что обнаружение ожидаемого эффекта добавило бы еще один аргумент в пользу представления о световых квантах, а «в противном случае будет пролит некоторый свет на вопрос о границах применимости теории световых квантов в области рентгеновских лучей». Напомним, что в то время фотонную гипотезу все еще отвергал не кто иной, как Н. Бор (изменивший свое отношение только после экспериментов Боте и Гейгера в 1925 г.). Так что 18-летний Бронштейн сразу же попал в гущу событий современной физики.

Обратим внимание на слова *«границы применимости теории»,* появившиеся в статье юного теоретика. Их можно считать, как мы увидим в дальнейшем, ключевыми для всего научного творчества М. П. Бронштейна, для его мировоззрения.

Важная особенность первой статьи Бронштейна — внимание к практической реализуемости эксперимента. Автор оценил количественно ожидаемый эффект для нескольких режимов работы рентгеновской трубки и обсудил условия наблюдения.

И в теме статьи, и в сочетании позиций теоретика и экспериментатора легко усмотреть влияние Тартаковского. Он был активным приверженцем и пропагандистом квантовых представлений. Начиная с первой публикации [269] его научная

деятельность была посвящена квантовой физике. Усвоению квантовых идей в СССР способствовали его книги «Кванты света» (1928)[3] и «Экспериментальные основания волновой теории материи» (1932). В книгах этих основная тяжесть аргументации была в опытных данных, описанных с тщательностью экспериментатора; книги не давали повода усомниться в том, что физика — наука экспериментальная. Вместе с тем книги давали и представление о радикальном преобразовании теории, связанном с квантовой физикой. Такое сочетание теоретика и экспериментатора в одном человеке стало редким в эпоху, когда эти две профессии, два образа мыслей и действий уже явно расслоились. М. П. Бронштейну, несомненно, повезло в том, что первый физик, который встретил его у входа в науку, был таким. Окрыленность теоретической мысли и чувство равновесия, тренированное знанием и пониманием эксперимента, равно необходимы теоретику.

Бронштейн интенсивно работает. В 1925 г. две его статьи по квантовой теории взаимодействия рентгеновского излучения с веществом были опубликованы в известном немецком журнале «Zeitschrift fur Physik», в 1926 г.— еще три статьи. В этих работах впечатляет математическая подготовка начинающего теоретика.

Его быстро узнают киевские физики и астрономы. Он становится членом секции научных работников при Киевском окружном отделении Союза работников просвещения. Директор астрономической обсерватории С. Д. Черный и руководители физических семинаров Л. И. Кордыш и Г. Г. Де Метц высоко оценивали его работу; их отзыв пригодился Бронштейну при поступлении в Ленинградский университет[4].

В 1927 г. А. Г. Гольдман[5] в статье «Физика на Украине в 10-ю годовщину Советской Украины» [166] упомянул три статьи Бронштейна [2—4]: «Из теоретических исследований можно еще отметить публикации М. Бронштейна (молодого киевского физика, позже переехавшего в РСФСР). Он рассматривал вопросы о непрерывном рентгеновском спектре, о квантовой теории эффекта Лауэ и о движении электронов около неподвижного центра поля».

Молодой физик переехал в РСФСР, а точнее в Ленинград, в 1926 г., видимо, по совету Тартаковского. Теоретическая физика в Киеве была все же довольно провинциальной, и М. П. Бронштейну стало в ней тесно.

Глава 2. В Ленинградском университете (1926-1930 гг.)

2.1. В университет

В 1926 г. Ленинград был научной столицей СССР, в Ленинграде (до 1934 г.) находилась Академия наук и ее основные институты. И здесь Бронштейну предстояло найти дорогу в большую физику. Хотя он уже сделал несколько самостоятельных научных работ, не лишним было получить высшее образование. Можно, впрочем, думать, что он без восторга относился к перспективе учиться в рамках официально установленной программы, с определенным перечнем предметов, экзаменов и зачетов. Не потому, конечно, что считал свое образование уже законченным: учиться, осваивать новое — одна из главных составляющих профессии теоретика. Просто 19-летний Бронштейн вырос из чисто студенческого возраста. Однако пребывание в высшем учебном заведении давало простую возможность войти в сообщество физиков.

В Ленинграде было два основных вуза, в которых можно было выучиться на физика: физико-механический факультет Политехнического института и университет. Физмех, детище А. Ф. Иоффе, имел в 1926 г. всего семь лет от роду. Это учебное заведение было основано на принципе тесной связи физики и техники. Стараниями Иоффе к преподаванию на физмехе привлекались лучшие научные силы, в том числе из университета. Однако физмеховское образование под влиянием общей направленности Политехнического института включало в себя большой объем инженерно-технических дисциплин, который мог показаться слишком обременительным для физика-теоретика. И ленинградские теоретики в основном выходили из университета, несмотря на некоторую его старомодность. Среди профессоров университета (кроме экспериментатора

Д. С. Рождественского) не было физических имен мирового звучания. Сказывалось наследие прошлого. В дореволюционной физике Петербургский университет по научным достижениям заметно уступал Московскому (где работали А. Г. Столетов, Н. А. Умов, А. А. Эйхенвальд, П. Н. Лебедев). И хотя благодаря пребыванию П. Эренфеста в Петербурге в 1907— 1912 гг. уровень физики поднялся, все же в середине 20-х годов физики Ленинградского университета — это в основном педагоги. Среди них — патриарх российских преподавателей физики О. Д. Хвольсон (1852— 1934). Его капитальный «Курс физики» выдержал несколько изданий, в том числе на иностранных языках (об этом курсе, в частности, одобрительно высказывался Эйнштейн, по нему учился Ферми). У Хвольсона были не по

возрасту передовые взгляды. Он с энтузиазмом встретил революционные идеи теории относительности и квантовой физики, активно их популяризировал.

Бронштейна в университет, несомненно, должно было привлечь универсальное представительство разных наук, разных областей знаний: рядом были астрономы и филологи, историки и математики. У него было слишком много интересов, и он не мог ограничиться одной физикой.

Итак, в 1926 г. Бронштейн поступает на физический факультет Ленинградского $_1$университета. Поступает по конкурсному экзамену[6], который для него вряд ли был заметным препятствием. Очень скоро на физфаке заговорили о новом студенте, с которым побаивались вступать в дискуссии преподаватели и у которого за плечами были статьи в европейских научных журналах. Говорили о студенте, который ходил и спрашивал: «Где здесь сдают какие-нибудь экзамены?» — он был готов сдавать любой. А профессор Орест Даниилович Хвольсон, к которому этот студент пришел сдавать экзамен за весь курс общей физики уже в начале ноября, заявил: «Что это за маскарад, милостивый государь!? Третьего дня я читал вашу статью в «Цайтшрифт фюр физик», а сегодня вы приходите ко мне экзаменоваться!? Давайте вашу зачетку!» Еще через неделю Бронштейн сдал экзамен по математике за первый курс. Судя по зачетке Бронштейна, среди его учителей в университете были В. Р. Бурсиан, Б. Н. Делоне, Ю. А. Крутков, П. И. Лукирский, В. И. Смирнов, В. А. Фок, В. К. Фредерикс [100].

Нет сведений о том, почему Бронштейн провел в университете четыре года; несомненно, он мог закончить университет быстрее. Возможно, не было подходящего места в научных учреждениях, а университет вполне обеспечивал среду обитания, необходимую для физика-теоретика. В университетские годы учеба для Бронштейна была отнюдь не самым главным занятием; он тогда получил результаты в астрофизике, за которые впоследствии (после введения в 1934 г. ученых степеней) ему была присвоена кандидатская степень без защиты.

Условие жизнедеятельности начинающего теоретика — общение с себе подобными. Чем выше уровень развития личности, тем труднее это условие выполнить. Поэтому в начале творческого пути такие люди склонны к объединению в довольно устойчивые группы.

Весной 1927 г. Бронштейн обнаружил одну такую группу и вошел в нее. Обнаружил он ее благодаря своим познаниям и интересам не физическим, а ... поэтическим.

2.2. Джаз-банд

Речь идет о знаменитом среди физиков Джаз-банде, в центре которого были Г. А. Гамов, Д. Д. Иваненко и Л. Д. Ландау[7], в то время, впрочем, более известные своими прозвищами — Джонни, Димус и Дау; называли их еще «три мушкетера». В некоторых устах вторая часть названия группы прибавлением всего одной буквы в конце меняла загранично-музыкальный характер на отечественно-уголовный. Бандой с особой охотой называли их не поспевающие за временем физики и философы, которым не приходилось рассчитывать ни на почтительное, ни даже на сдержанно-нейтральное отношение.

К этой боевой и пышущей физико-математическим здоровьем группе присоединился Бронштейн. Присоединился к мушкетерам он так же быстро и легко, как в свое время Д'Артаньян. И с не меньшим энтузиазмом стал служить королеве Физике.

В нашем распоряжении есть воспоминания о том, как Бронштейн вошел в Джаз-банд. Принадлежат они леди Пайерлс (1908-1986). До 1931 г. ее звали Женей Канегиссер и была она штатным поэтом Джаз-банда (заняв эту должность весной 1926 г.). Новой фамилией и дворянским титулом она обязана мужу — немецкому физику Рудольфу Пайерлсу, с которым познакомилась во время физического съезда в Одессе и который в Англии получил дворянское звание за научные заслуги. Но своими успехами сэр Пайерлс был, хотя бы отчасти, обязан своей жене,— это ясно каждому, кому знакомы очарование ее личности, ее оптимизм и жизненная мудрость. Евгения Николаевна горячо откликнулась на просьбу поделиться воспоминаниями об М. П. Бронштейне. И вот ее письмо от 9.3.1984 г.:

« Постараюсь написать Вам все, что я помню о Матвее Петровиче. Я познакомилась с ним ранней весной, по-моему, 1927 года. Стояли лужи, чирикали воробьи, дул теплый ветер, и я, выходя из лаборатории где-то на Васильевском острове, повернулась к маленькому ростом юноше, в больших очках, с очень темными, очень аккуратно постриженными волосами, в теплой куртке, распахнутой, так как был неожиданно очень теплый день, и сказала: "Свежим ветром снова сердце пьяно". После чего он немедленно продекламировал все вступление к этой поэме Гумилева[8]. Я радостно взвизгнула, и мы тут же по дороге в Университет стали читать друг другу наши любимые стихи. И, к моему восхищению, Матвей Петрович прочитал мне почти всю "Синюю звезду" Гумилева, о которой я только слышала, но никогда ее не читала.

Придя в Университет, я бросилась к Димусу и Джонни — в восторге, что я только что нашла такого замечательного человека. Все стихи знает и даже " Синюю звезду!".

Вот как Матвей Петрович вошел в круг Джаз-банда. Джаз-банд выпускал "Physikalische Dummheiten", которые читались на семинаре в Университете, и вообще нахально развлекался по поводу наших учителей. Джо, Димус и Дау были гораздо дальше остальных как по способностям, так и по знанию физики и разъясняли нам все новые увлекательные открытия квантовой механики. Аббат (Матвей Петрович) довольно быстро догнал Дау и Джо, он был очень хороший математик.

Я помню Матвея Петровича, смотрящего через очки, которые у него почти всегда сползали на кончик носа. Он был исключительно "цивилизован", он не только все читал, почти обо всем думал, но для очень молодого еще человека он был необыкновенно деликатен по отношению к чувствам и ощущениям других людей, очень благожелателен, но вместе с тем непоколебим, когда дело шло о "безобразном поведении" его друзей.

Я не помню, кто его назвал Аббатом, но это имя к нему очень шло. Благожелательный скептицизм, чувство юмора и почти универсальное "понимание". Он был исключительно одарен».

Уже по этому рассказу Е. Н. Пайерлс можно ощутить, что Джаз-банд жил интенсивно. Действовал собственный семинар, на котором осваивались бурные события, происходившие в физике. Атмосферу в тогдашней физике передает гимн теоретикам, сочиненный Е. Н. Канегиссер (по мотивам «Капитанов» Гумилева) :

Вы все, паладины Зеленого Храма, по волнам де Бройля держащие путь, барон Фредерикс и Георгий де Гамов, эфирному ветру открывшие грудь,

Ландау, Иваненко, крикливые братья, Крутков, Ка-Тэ-Эфа ленивый патрон, и ты, предводитель рентгеновской рати, ты, Френкель, пустивший плясать электрон,

блистательный Фок, Бурсиан, Финкельштейн и жидкие толпы студентов-юнцов, вас всех за собою увлек А. Эйнштейн, освистаны вами заветы отцов.

Не всех Гейзенберга пленяют наркозы, и Борна сомнителен очень успех,

но Паули принцип, статистика Бозе в руках, в головах и в работах у всех.

Но пусть расползлись волновые пакеты, еще на природе густая чадра, опять не известна теория света, еще не открыты законы ядра.

И в Цайтшрифте ваши читая работы, где темным становится ясный вопрос, как сладостно думать, что яростный Боте для ваших теорий готовит разнос.

Поясним наиболее темные места. Ю. А. Крутков заведовал Кабинетом теоретической физики (КТФ) без особого рвения. Опыты Боте (и Гейгера) «разнесли» гипотезу Бора о несохранении энергии в комптоновском рассеянии. Судя по содержанию, гимн был сочинен в 1927—1928 гг. Опубликован он был в упомянутом журнале «Physikalische Dummheiten» (Физические глупости), который передразнивал бурлящую вокруг физико-математическую жизнь с интонациями, меняющимися от дружелюбного подсмеивания до издевательского сарказма. Не исключались из рассмотрения, разумеется, и сами издатели.

Дискуссии и теорфизический анализ обрушивались на все, что попадало под руку: балет, поэзию, Фрейда, литературу, а также «ситуации», возможные в отношениях прекрасной и сильной половин человечества. Стиль их жизни в полном соответствии с их возрастом и с духом времени отличался воинствующей неофициальностью. Это проявлялось и в их отношениях со старшими. И в названии «ансамбля», которое в те годы звучало вызывающе (джаз стал явлением советской культуры только в самом конце 20-х годов, джаз-оркестр Л. Утесова появился в 1929 г.). И в том, что совместная статья Гамова, Иваненко и Ландау [156] сочинялась в честь одной из участниц Джаз-банда за обеденным столом в ресторане «Астория». Здесь в разительном контрасте с названием, комиссия по улучшению быта учащихся (КУБУЧ) кормила студентов за вполне студенческую плату.

Несмотря на столь несолидный повод для появления этой статьи, мы еще вернемся к ней. Даже яркие таланты Джаз-банда не могли сделать статью из воздуха. Сделана она, несомненно, из идей и соображений, участвовавших в их каждодневных разговорах.

Идеи эти были не вполне определенными, не выражались в полноценных уравнениях и потому не отвечали их собственным стандартам настоящего физического результата. Но и только. В остальном это была вполне нормальная статья, отражающая современную ей ситуацию в фундаментальной теоретической физике и даже заглядывающая в будущее. Мы еще поразмыслим (в гл. 5) над содержанием этой статьи, весьма необычной для всех трех ее авторов, и еще удивимся, почему среди авторов нет Бронштейна.

2.3. Аббат и его друзья астрономы

Не надо удивляться тому, что Е. Н. Пайерлс не помнила, кто назвал Бронштейна Аббатом. И не потому, что прозвища зачастую возникают по совершенно случайным причинам. «Аббат» появился в совсем другой компании, с которой Бронштейн в университетские годы был связан, пожалуй, даже больше, чем с Джаз-бандом, хотя возникла она на другом факультете университета. Это была компания астрономов.

В Ленинградском университете астрономическое отделение входило в состав не физического, а механико-математического факультета. Причины этого исторические. Коренятся они в эпохе, когда теоретическая астрономия стояла на одном слоне — небесной механике.

Во взаимоотношениях физики, астрономии и математики история науки продемонстрировала свой отнюдь не монотонный характер. Не будем говорить о тех далеких, древнегреческих временах, когда «физика» была именем всех наук о природе, когда очевидная — действительно видная очам — регулярность астрономических явлений была моделью закона природы вообще. Эта же математически совершенная регулярность тогда отделила пропастью небесную физику, управляющую надлунным миром явлений, от физики земной, пытавшейся осмыслить и упорядочить хаос явлений подлунных.

Совсем иной была ньютоновская эпоха, когда рождались новая физика, новая астрономия и новая математика; с этой замечательной эпохой Митя Бронштейн знакомился впервые, как мы помним, с помощью «Астрономии» Фламмариона. Законы ньютоновской физики провозглашались для всего мироздания. Небесная механика, на которую могла опираться теоретическая астрономия, была лишь частным случаем физики. Однако очень быстро небесная механика перестала нуждаться в физике и, сыграв чрезвычайно важную роль в развитии математики, стала фактически ее частью. И пока астрономия опиралась только на небесную механику, студентам-астрономам было не тесно на механико-математическом факультете. Приходилось, правда, представлять себе астрономические явления как движение материальных точек, а не полноценных физических тел.

Положение изменилось в середине прошлого века, когда к изучению звезд начал применяться спектральный анализ. Однако только после того, как квантовая теория разгадала шифр спектральных линий, астрономия стала опираться на физику не в меньшей мере, чем на небесную механику. Новая опора дала

астрономии возможность ставить и решать такие вопросы, которые до этого были просто немыслимы. Это горячее время, время совершеннолетия астрофизики, пришлось как раз на вторую половину 20-х годов [234].

Физик, следящий за развитием естествознания широко, не мог не заметить такого расцвета астрофизики, такого обилия физических цветов на дереве астрономии, не мог не заметить того, что астрономические числа начинали становиться физическими.

Бронштейн был таким физиком. Астрономия интересовала его еще в Киеве. Не удивительно поэтому, что, поступив в университет, он стал ходить и на занятия к астрономам. Студент-физик очень быстро прижился там. Особенно он сблизился с В. А. Амбарцумяном и Н. А. Козыревым, а также с гидромехаником И. А. Кибелем. Жизнь этой компании проходила и в университете, и в Пулковской обсерватории.

Бронштейн не только свое время делил между физикой и астрономией, но и способствовал приобщению к астрономии товарищей-физиков. Д. Я. Мартынов, вспоминая ранние работы Амбарцумяна и Козырева по звездным атмосферам, отмечает, что оба молодых астронома «входили в состав талантливой группы студентов, которая сформировалась в Ленинградском университете в 20-е годы. В нее входили еще М. П. Бронштейн, Г. А. Гамов, Л. Д. Ландау, Д. Д. Иваненко — блестящее созвездие будущих звезд первой величины!

Из них М. П. Бронштейн и Д. Д. Иваненко не раз приезжали в Пулково, и здесь велись широкие и вольные обсуждения самых разнообразных вопросов теоретической физики и астрофизики, из которых родилось вскоре несколько важных работ. М. П. Бронштейн — яркий брюнет, сдержанный, со спокойной речью, безупречно логичной и убедительной. Д. Д. Иваненко, наоборот, шумный, с быстрой речью, которая свободно льется и свидетельствует, что говорящий (я чуть не сказал «оратор») превосходно владеет предметом, а кроме того, полон множеством сформировавшихся идей. Бронштейн как раз только что решил несколько важных вопросов теории переноса излучения в атмосферах Солнца и звезд, а Д. Д. Иваненко и В. А. Амбарцумян подготовили несколько работ по математической физике и физике ядра. В эту же пору с вопросами астрофизики соприкоснулся и Л. Д. Ландау, результатом чего явилась его работа 1932 г. о возможности существования сверхплотных звезд» [234, с. 440].

Смена поколений в тогдашней астрономии была еще более ощутимой, чем в физике. Астрономы старшего поколения

испытывали на себе двойной напор: напор физики вообще и напор новой физики — релятивистской и квантовой, только еще осваиваемой самими физиками. Кроме наплыва астрофизических идей, астрономия того времени переживала важные открытия наблюдательного характера; в частности, была окончательно установлена внегалактическая природа спиральных туманностей — других галактик (Хаббл, 1924), что необычайно раздвинуло рамки астрономической картины мира. Молодую физику несли в астрономию преимущественно молодые люди. Астрономы старой школы недоверчиво воспринимали претензии молодых астрофизиков «определить число атомов над квадратным сантиметром солнечной поверхности» [Там же, с. 439]. С другой стороны, несколько ошалевшие от лавины новых идей и открытий, они порой утрачивали бдительность.

У астрономов повесили объявление о том, что М. П. Бронштейн сделает доклад по работам крупного индийского физика и астрофизика Бодичирака Рамасатвы. Сообщалось, что автор, будучи проездом в Ленинграде, любезно предоставил материалы статьи, только что направленной в печать.

Аудитория была полна — Бронштейн уже успел завоевать известность первоклассного докладчика. Изложив ряд естественных исходных предположений, докладчик сформулировал задачу на собственные значения для планетной системы. На доске появилось внушительное дифференциальное уравнение, в котором фигурировали постоянная Планка, скорость света, масса электрона, масса центрального светила и еще несколько букв латинского и греческого алфавитов. Обсудив сходимость интеграла от волновой функции, докладчик выписал спектр собственных значений. После некоторых преобразований и подстановки массы Солнца все узнали в нем знаменитый закон Тициуса— Боде, дающий радиусы планетных орбит в Солнечной системе. Это был главный результат излагаемой работы.

Доклад произвел большое впечатление на слушателей. Мнение части присутствующих выразил профессор П. М. Горшков, одобрительно отозвавшийся об «очень интересном» сообщении и высказавший некоторые свои соображения в связи с ним.

Мистификация удалась на славу. Оставалось только «размотать чалму» на многоуважаемом Б. Рамасатве, что и было сделано под хохот аудитории, к удовольствию создателей эпохальной астрономо-физической работы.

Доклад этот состоялся в Астрономическом кабинете, или Астрокабе, в котором проходили лекции и семинары у астрономов. И рукописный журнал, который в 1927—1928 гг. выпускали студенты-астрономы при участии студента-физика

Бронштейна, назывался «Ast-rocabical Journal». По своему характеру это издание было родственно «Physicalische Dummheiten»; различие в языках названий объясняется тем, что тогда лидирующее положение в физике занимали немецкоязычные ученые, а в астрономии — англичане. В. А. Амбарцумян запомнил сонет, написанный Бронштейном для второго номера нового журнала:

Астрокабическому журналу
Будь выше порицаний и похвал,
Будь маяком, светящим нам из мрака,
Тринадцатым созвездьем Зодиака Сияй,
Астрокабический журнал!
Пускай тираж твой смехотворно мал,
Ты высшего был удостоен знака:
С усердием, достойным маниака,
Сам Костинский[9] *тебя переписал.*
Твоя судьба была необычайна,
с младенчества тебя скрывала тайна.
Никто не знает, кто твои творцы,
Кто сторожа твоих святых преддверий.
Они хранят молчанье, как жрецы
Ужасных дионисовых мистерий.

У молодых ленинградских астрономов прозвища были в ходу не меньше, чем у физиков. Чаще всего прозвища делали из имени или фамилии: Амбарц (или Амбар), Киб, Дау, Джонни, Димус. Однако прозвище Бронштейна имело совсем иное происхождение.

В те годы очень большой популярностью пользовалась книга А. Франса «Харчевня королевы Гусиные Лапы». На русский язык эту книгу перевел в 1923 г. И. Б. Мандельштам — отчим сестер Жени и Нины Канегиссер. В их доме часто собирались друзья — молодые физики и астрономы.

Книгу Франса молодые астрофизики читали вслух в пригородном поезде на пути из Пулково в университет. Главный герой книги, аббат Жером Куаньяр, доктор богословия и магистр наук, был личностью, замечательной во всех отношениях. Острота ума, обширные знания, рационализм, уравновешенный скептической иронией, добросердечное, снисходительное отношение к людям — во всех этих качествах Куаньяра можно усмотреть причины того, почему Бронштейна назвали аббатом Куаньяром (по свидетельству В. А. Амбарцумяна, первым это сделал Н. А. Козырев). Но главной причиной была фантастическая образованность М. П. Бронштейна, к которой не могли привыкнуть даже его друзья.

Прозвище родилось сразу после того, как в конце книги и в конце бурной жизни святой отец, умирая от кинжальной раны, не без сожаления признал, что ему «довелось прочесть куда меньше, чем второму викарию его преосвященства епископа Сеэзского. Хотя внешне и внутренне он походил на осла, но оказался еще более усердным книгочеем, нежели я, ибо был он косоглаз и пробегал по две страницы сразу» [282].

Преданный ученик аббата Куаньяра — Жак Турнеброш считал, что по таланту и знаниям с его учителем не могли сравниться даже «геометры и философы, кои, по примеру г-на Декарта, способны измерить и взвесить миры». Однако в этом, по-видимому, сомневались друзья Бронштейна, знавшие, что в XX в. право измерять и взвешивать миры перешло к физикам.

Подобно Куаньяру, Бронштейн не мог пройти спокойно мимо неизвестной ему книги и прочел их несчетное количество. Однако если Куаньяру для того, чтобы «прочесть всех греческих и римских авторов, чьи творения пощадило время и невежество людей», был дан 51 год (в таком возрасте он предстает перед читателем), то Бронштейну, чтобы заслужить подобную славу, хватило 21 года.

Очень скоро прозвище упростилось до «Аббата» и впоследствии обросло несколькими исключающими друг друга объяснениями. Возможно, отчасти это произошло потому, что Куаньяра характеризовал не только букет перечисленных выше добродетелей. Он любил выпить, закусить и... короче, он воздавал хвалу Всевышнему за все, сотворенное на радость человеку. При необходимости он мог даже разбить бутылку о голову своего противника, противника в жизни, конечно, а не в ученой дискуссии. Эти качества были свойственны Бронштейну в меньшей мере. Но такое различие можно объяснить различием во времени, пространстве и области занятий (богослов во Франции начала эпохи Просвещения и физик в Советской России начала строительства социализма).

Не следует, однако, думать, что жизнь М. П. Бронштейна сводилась к занятиям наукой и чтению книг. Иначе совершенно загадочными показались бы некоторые сохранившиеся с тех времен фотографии. На одной из них на пляжном фоне запечатлена сцена покорения туземцев неизвестной страны: вооруженный крестом Аббат завоевывает душу коленопреклоненной язычницы Жени, а стоящий рядом Амбарц с чемоданчиком, видимо, изображает коммерсанта, который, как известно, в таких случаях всегда сопровождает миссионеров. На другой фотографии — два кавалера с барышнями: в одной из барышень, скромно повязанной платочком и с очками на носу,

можно узнать Аббата, а в кавалерах — сестер Канегиссер. Еще на одной фотографии, сделанной во время съезда физиков 1930 г. в Одессе,— выстроившиеся в ряд участники съезда в купальных одеяниях удерживают за пятки соответствующее количество девушек, погруженных в воды Черного моря. Аналитически продолжая сюжеты этих фотографий, можно прийти к выводу, что жизнь М. П. Бронштейна была полнокровной во всех отношениях.

А разве может быть жизнь полнокровной без путешествий? И в конце лета 1929 г. Амбарцумян, Бронштейн, Козырев и Кибель отправились в путешествие по Армении к селу Басарчегар (ныне — Варденис) — родному селению В. А. Амбарцумяна. Перед отъездом из Ленинграда они сфотографировались. Хотя путешествие было недолгим (чуть больше недели), в нем было все необходимое: и плаванье на корабле (по Севану), во время которого поднялась буря и качка достигала почти океанских масштабов, и верховая езда, и ночь под открытым небом, которую пришлось коротать, рассказывая по очереди страшные истории, и 40-километровый пеший переход. Во время этого путешествия М. П. Бронштейну, не отличавшемуся спортивной подготовкой, не раз приходилось недостаток физических сил восполнять духовными. Но зато была достигнута главная цель — забраться подальше от Ленинграда, от науки и отдохнуть от напряженной работы. Ко многому они могли относиться несерьезно, но только не к науке. А серьезное отношение предполагает труд, труд постоянный, в полную силу.

2.4. Первые работы по астро-, гео- и популярной физике

1929 год был для Бронштейна напряженным и продуктивным. Этим годом помечены две его работы по астрофизике и одна по геофизике; в этом же году вышла его первая популярная книга и несколько статей (напомним, что он тогда был еще студентом!).

Первые астрофизические работы Бронштейна посвящены атмосферам звезд [5]. В этой же области работали тогда Амбарцумян и Козырев. В то время физика энергично и всерьез рассматривала новый для себя объект — звезду как целостную физическую систему. Прежде чем решать главный астрофизический вопрос о внутреннем строении и об источнике энергии звезды, надо было начать с ее начала — с поверхности звезды, с ее атмосферы, связывающей звезду с внешним миром, и в частности с наблюдателем. Без ясного количественного понимания «поверхностных» астрофизических явлений нельзя было рассчитывать на успешное продвижение в глубь звезды. С другой стороны, и сама физика тогда была уже достаточно развита для рассмотрения процессов в атмосфере звезды, но совершенно недостаточно — для раскрытия ее внутреннего устройства.

Теория звездной атмосферы стала тогда уже вполне респектабельной областью, в которой нельзя было рассчитывать на успех с налету. Надо было внимательно изучить сделанное предшественниками. Здесь уже успели появиться свои классики: К. Шварцшильд, Дж. Джинс, А. Эддингтон, Э. Милн.

Задача о лучистом равновесии звездной атмосферы, которой занялся Бронштейн, восходит к Шварцшильду (тому самому, кстати, который получил первое точное решение уравнений ОТО). В астрофизике звезду (и в частности Солнце) принято характеризовать эффективной температурой $T_{эф}$ — температурой черного тела, имеющего те же размеры и такое же полное излучение, что и данная звезда. Величина Tэф просто рассчитывается исходя из земных наблюдений. Задача, которая привлекла внимание Бронштейна, состояла в отыскании зависимости температуры вещества звезды от (оптической) глубины т, разумеется, в рамках определенной физической модели звезды. К тому времени было уже известно, что эта зависимость имеет вид

$$T(\text{т}) = T_{эф}\,[3/4(\text{т} + \partial(m))]_{1/4}$$

[5] Авторы этой книги глубоко благодарны В. В. Иванову за

подробный комментарий к первым астрофизическим работам Бронштейна.

где величина д(т) мало меняется и дается решением определенного интегрального уравнения (уравнения Милна). Ясно, что численное значение q(0) дает возможность по измеряемой на Земле величине ТЭф узнать истинную температуру поверхности Солнца T_o. На определение величины q(0) были затрачены многие усилия корифеев астрофизики, но удавалось получить только различные приближения (по два — Джинс и Эддингтон и три — Милн). И вот Бронштейн в 1929 г. получил точное значение $q(0) = 3^{-1/2}$, а следовательно, и точное соотношение

$$T_o = (\sqrt{3}/4)^{1/4} T_{эф}$$

Этот результат впоследствии стал называться соотношением Хопфа— Бронштейна [297, с. 85, 96], хотя порядок фамилий мог быть и обратным, потому что Хопф[10] получил его несколько позже .

Об уровне первых астрофизических работ Бронштейна можно судить по тому, что они публиковались в главных журналах того времени. Третья (и последняя) его статья по звездным атмосферам была опубликована в английском «Monthly Notices». Представил эту статью сам Милн, и написана она была, как указал автор, в ответ на письмо Милна. По-видимому, на Милна точный результат ленинградца произвел столь сильное впечатление, что он поставил перед Бронштейном вопрос о другом граничном значении *q(x)* (бесконечная оптическая глубина в атмосфере звезды соответствует фактически небольшой геометрической глубине). Однако на этот раз точного значения получить не удалось (не известно оно и до сих пор), Бронштейн нашел только некоторое приближение[11].

Эти работы Бронштейна можно отнести к математической физике, их суть состояла в искусном математическом «пробивании» уже поставленной физической задачи, но это отнюдь не было математическим паразитированием на физике. (Тот же, в сущности, аппарат оказался необходим для описания переноса нейтронов, когда в конце 30-х — в 40-х годах начались исследования, связанные с цепной реакцией в уране.)

Говорить подробнее об этих работах мы не будем. Как известно, время беспощадно к произведениям научного творчества, гораздо беспощаднее, чем к произведениям искусства. В особенности это относится к теоретической физике. Даже от

работ, которые включают в золотой фонд науки, остается спустя некоторое время всего несколько строчек и формул в учебниках и сводных монографиях. Мучительный зачастую путь к результатам, преодоление мнимых и подлинных препятствий, ошибки и предрассудки — все это заменяется одной-двумя фразами, которые служат, скорее, педагогическим целям или же выражают эмоциональное отношение автора учебника к излагаемому результату. Что же говорить об основном потоке работ, добротных и даже первоклассных работ?! Они, как показывает тщательный историко-научный анализ в каждом конкретном случае, образуют необходимую питательную среду, без которой не появилась бы «золотая» работа. Но сами растворяются в последующих исследованиях, оказываются хотя и полезными, но слишком сильными идеализациями.

Об уровне астрофизических работ Бронштейна говорит и то. что, когда в СССР в 1934 г. были введены научные степени, кандидатскую Бронштейну присудили без защиты за его работы по астрофизике (к статьям о звездной атмосфере добавились работы по белым карликам и о влиянии электрон-позитронных пар на тепловое равновесие при высоких — звездных — плотностях энергии (см. разд. 5.2, п. в).

Для Бронштейна 1929 год был не только астрофизическим, но еще и на удивление геофизическим. Хотя название его большой статьи [8] содержит то же слово «атмосфера», что и название области его астрофизических работ, эта общность чисто словесная. Звездная атмосфера и атмосфера Земли как объекты физико-математического исследования совершенно различны. Уж не говоря о кардинальном различии физических условий в этих атмосферах, совершенно различны были вопросы, которыми задавались их исследователи. Для звездной атмосферы нужно было изучить стационарный усредненный режим, определяющий энергоотдачу звезды, поведение температуры и плотности с глубиной. А для земной атмосферы самые важные вопросы связаны с ее динамикой. У Эддингтона были основания говорить, что звезда — очень простой объект для изучения, гораздо проще, например, чем человек. Земная атмосфера по своей сложности уже сравнима с человеком. Недаром прогноз погоды, который должен быть простым приложением динамики атмосферы, до сих пор не стал образцом определенного научного прогноза, а остается в большой мере предсказанием. И предсказать погоду в конкретном месте бывает не легче, чем предсказать поведение человека в конкретных обстоятельствах.

Статье по динамике атмосферы Бронштейн предпослал эпиграф — высказывание Э. Куммера: «Можно считать

эллипсоидом вращения любой булыжник — все дело только в степени приближения». Это вполне понятная реакция физика-теоретика на теоретическую геофизику. Теория вообще может заниматься только достаточно простыми моделями, но главный объект геофизики — Земля, уникальная и неповторимая,— удален от ее теоретических моделей несравненно больше, чем обычно в теоретической физике.

Однако Бронштейн смотрел на свои занятия геофизикой вовсе не свысока. Об этом свидетельствует его первая популярная книжка «Состав и строение земного шара». Здесь рассказывается о геохимии, геофизике, сейсмологии с такой детальностью и с таким проникновением в предмет, которые трудно ожидать от теоретика, занимающегося фундаментальной физикой (уже в следующем году он напишет статью о квантовании в магнитном поле и обстоятельный обзор космологии). Описание обширного наблюдательного материала сочетается с обсуждением гипотез, очень далеких от теоретической физики, например гипотезы Вегенера о дрейфе континентов.

Как могли совмещаться столь разные области — астрофизика, геофизика и фундаментальная физика? Удивляться такой широте интересов нам еще предстоит не раз. Уточним лишь обстоятельства, сопутствующие геофизической работе Бронштейна.

Из материалов его личного дела следует, что в июле 1929 г., будучи студентом, он работал в должности физика в Главной геофизической обсерватории (ГГО), в отделе теоретической метеорологии. Отделом руководил Л. В. Келлер (1863—1939), один из ближайших сотрудников А. А. Фридмана. Келлер, кроме прочего, занимался теорией циркуляции атмосферы. К этой области относилась статья Бронштейна [8] и ряд его докладов на семинаре в ГГО [209, с. 74].

А кто мог ему показать дорогу в геофизику? Во-первых, И. А. Кибель. Он работал в ГГО в том же отделе (успев побыть несколько месяцев аспирантом А. А. Фридмана) и занимался гидродинамикой сжимаемой жидкости (фактически динамикой атмосферы). Такому посредничеству не могло помешать то, что Киб и Аббат были неравнодушны к одной и той же девушке (которая, впрочем, к обоим испытывала лишь дружеские чувства).

2.5. У Шенроков на Васильевском

Был еще один человек, который мог знакомить Бронштейна с геофизикой, и как раз с областями, наиболее удаленными от теорфизики. Это А. М. Шенрок, еще с прошлого века работавший в ГГО (до 1923 г. она называлась Главной физической обсерваторией). Он был метеорологом в смысле XIX в., т. е. по преимуществу «метеорографом», наблюдателем. А кроме того, он был владельцем квартиры на Васильевском острове (16-я линия, дом 9, кв. 1), в одной из комнат которой Бронштейн прожил все четыре университетских года.

Александр Михайлович Шенрок, происходивший из эстляндских немцев, образование получил в Германии (следы этого были видны и на его лице — в виде шрамов, оставшихся от студенческих поединков), но за долгие годы жизни в Петербурге совершенно обрусел. Вынужденный самоуплотняться[12], он предпочитал квартирантами брать студентов отчасти, возможно, потому, что его тяготило нереализовавшееся родительское чувство (у Шенроков не было своих детей).

В большой квартире, кроме Бронштейна, комнату снимал еще и его товарищ — филолог С. А. Рейсер. Познакомились они в профессорском читальном зале Киевского университета в 1924 г. Рейсер попал сюда, отличившись в семинаре «пидвищенного тшу». Он сразу заметил за соседним столом невысокого темноволосого юношу, который уже занимался, когда Рейсер приходил, и все еще занимался, когда он уходил. Юноша с непонятным увлечением читал книги и журналы, испещренные формулами, и такими же страшными формулами заполнял листы бумаги перед собой.

Они подружились. Пресловутая стена, отделяющая физиков от лириков, им не мешала. Точнее говоря, для физика Бронштейна эта стена была легко проницаема. И не только потому, что литература, поэзия были необходимыми компонентами его жизни. Для него и гуманитарные науки были полноценным и достойным уважения занятием (этим он, например, существенно отличался от Ландау, для которого «филология» была ругательным словом, предназначенным для текстов, физико-математических лишь внешне, и который науку филологию относил к занятиям «кислощецким, не более достойным мыслящего человека, чем коллекционирование бабочек»).

В Ленинграде Рейсер находился среди литературоведов, концентрировавшихся вокруг Б. М. Эйхенбаума. С помощью

Рейсера[13] Бронштейн был в курсе событий литературной жизни, он живо интересовался бурно цветущим тогда литературоведением, несмотря на то что его жизнь была насыщена физико-математическими заботами. Когда он замечал у Рейсера новую книгу, то обычно прочитывал ее сразу же, за один вечер — читал он очень быстро — и впоследствии, благодаря своей замечательной памяти, знал ее содержание с точностью до расположения текста на странице.

Когда Рейсер решил преподнести Эйхенбауму оттиск одной из первых своих работ (о взаимоотношениях Лескова с украинской культурой), Бронштейн сочинил для него подобающую случаю стихотворную надпись:

Прийми вщ мене, вчггелю мш милий,
На мові Кобзаря цей малий твір.—
Я все зробив, що мгг, щоб полюбили Сармати звуки московитських лір.

Еще одна надпись подобного назначения, сочиненная Бронштейном «под Пушкина», кончалась словами:

Винюсь, я поступил оплошно —
Мне эйхенбаумно и тошно.

А когда в 1929 г. вышла книга М. И. Аронсона и С. А. Рейсера «Литературные кружки и салоны» (под редакцией Б. М. Эйхенбаума), Бронштейн откликнулся стихотворением, в котором подсмеивался над творческим методом авторов — известным тогда «методом монтажа», существенно использовавшим ножницы и клей и сдержанным на литературоведческие комментарии. Это стихотворение, написанное уже «под Маяковского», начиналось так:

Я раньше думал -
книги делаются так:
Сидят,
корпят,
просиживают брюки,
И много лет пройдет, пока такой простак
Вкусит впервые сладкий плод науки,
Но в наш радийный век
сей труд стал очень прост:
Давно узнали
Рейсер с Аронсоном,
Как к славе проложить блестящий мост
Лишь ножницами
и синдетиконом.

Бронштейн очень хорошо знал поэзию (знал и в буквальном смысле — очень много стихов наизусть), диапазон «его» поэтов

был широк, больше других выделял Пушкина, Блока. Знал он не только русскоязычную поэзию — в его дарственных надписях, например, имеются поэтические цитаты на немецком, английском и французском языках. К своему стихотворчеству он не относился всерьез. Искусство версификации считал необходимым элементом общей культуры. Сам он этим искусством владел (не случайно в памяти его друзей сохранилось так много его стихотворных строк), легко и по разным поводам сочинял стихи. Излишней серьезностью он не страдал, и, например, однажды в 1927 г.

показал Рейсеру маленький флакон, который, по его словам, содержал цианистый калий, раздобытый у знакомого химика. На восклицание «Зачем??» от ответил стихотворением с байроновским названием «Euthanasia», из которого Рейсер запомнил такие строки:

Никогда я не буду ранен,
Никогда я не буду влюблен,
Я ношу в жилетном кармане
Небольшой зеленый флакон.
Тени прошлого, страшные тени

В этом мире я больше не пленник
Не закованный в цепи раб,
А одетый в железо воин,
Улыбающийся мечу:
Я теперь горделив и спокоен —
Я умру, когда захочу.
Если враг мой меня сильнее —
Я смеюсь над его торжеством.
Не пойду с веревкой на шее
На триумф надменный его...

Перо Бронштейна было легким не только в стихотворных импровизациях. Мы уже упоминали первую его популярную брошюру «Состав и строение земного шара» (1929). По характеру эта книжка довольно традиционна — многознающий автор делится знаниями с абстрактным читателем, ничем, в сущности, не помогая ему, не заботясь об отношении читателя к излагаемым сведениям. Только в заключительных абзацах звучит живой, увлеченный голос:

«Размер этой книжки не позволяет остановиться на других интересных вопросах, связанных с учением о составе и строении земного шара. Величайшего внимания заслуживает, например, вопрос о роли живого вещества в истории земной коры, недостаточно оцененный прежними учеными, но теперь стоящий в центре внимания геохимии (ср. напр. работы акад. В. И.

Вернадского о биосфере, т. е. о тех оболочках Земли, в которых происходят явления жизни).

Этого вопроса мы в нашей книжке уже не будем касаться, хотя и он очень важен для познания свойств того небесного тела, на котором нам суждено жить и умирать. Прикованное к небольшой планете, парящей в пространстве вокруг потухающего солнца, человечество стремится познать устройство этого твердого шара, который служит ему жилищем, а может быть, и вечной тюрьмой. Но, быть может, это и не так; быть может, через несколько веков после того, как неуклюжие каравеллы Колумба поплыли в океан и в неизвестность на поиски сказочных сокровищ Нового Света, междупланетные ракеты оторвутся от земли и понесут в мировое пространство новых смелых завоевателей; и, быть может, когда иссякнет энергия Солнца, человечество сумеет развернуть знамя жизни на другой планете, под более ярким солнцем и более голубым небом. Если этому суждено сбыться, то геофизика и геохимия получают иной смысл и иное значение: они изучают ту маленькую планету, которая послужит человечеству трамплином для его прыжка в бесконечное» [55].

Представить 22-летнего автора и присущую ему иронию помогает надпись, сделанная им на одном экземпляре книги:

«С. А. Рейсеру

О иллюзии! о пафос! о прыжки в бесконечное на газетной бумаге!

Учись красноречию и благородной красоте слога. Но, проливая слезы умиления, лови их в платочек. Этого требует качество бумаги. Кроме того будь здоров. Здоровье прежде всего.

Митя 4.IV. 1929 г.»

О легкости, с которой М. П. Бронштейн умел писать, говорит и пометка на экземпляре второй его популярной брошюры «Строение атома»: «Производительность труда — авторский лист в сутки. Гонорар 301 р. 50 к.» Отсюда и из самой дарственной надписи: «Дорогому Моне на память о тяжелой зиме 1929—1930 г.» — можно догадаться об одном из мотивов его писательства. Изобилие духовной жизни, царившее вокруг Бронштейна, сочеталось с довольно скудными условиями жизни материальной. Стипендии он не получал, а денег, которые могли посылать ему из дома, едва хватало на правильное решение основного вопроса философии. Первичность материального по отношению к духовному в те годы была в центре бурных философских дискуссий, порожденных теорией относительности и квантовой механикой (у нас еще будет повод обратиться к ним). Однако проводить правильную линию в сфере философии было легче,

чем в обыденной жизни, которая тогда в Ленинграде, во всяком случае для студента Бронштейна, была нелегкой. Поэтому и супруги Шенроки старались подкармливать симпатичных своих квартирантов, приглашали их иногда на обеды. Легко представить, что во время этих обедов Бронштейн получал и пищу духовную, именно так, возможно, он извлекал из бесед с А. М. Шенроком и осваивал обширный геофизический материал, пригодившийся ему.

Шенроки старались восполнить своим квартирантам недостаток домашнего тепла, но тепла только в переносном смысле. Очень трудно было зимой нагреть комнаты до комнатной температуры. Квартира большая, дрова достать трудно, и отопление своих комнат жильцам приходилось брать на себя. Квартира принадлежала когда-то (в сущности, совсем недавно, немногим более десяти лет назад) Л. А. Кассо — царскому министру просвещения. Забавно было представлять себе, что в этой просторной комнате, вот на этом угловом диванчике, на котором сейчас, в полном несоответствии с его назначением, ночует иногда Моня Рейсер, когда-то сидел сановный реакционер и обдумывал полицейские меры, коими можно было бы укротить университетские свободы. Однако во второй половине 20-х годов министерские размеры комнат были обременительны для отопления. Приходилось иногда под покровом темноты экспроприировать доски на расположенной поблизости стройке концессионной фабрики, принадлежащей иностранному капиталу. А когда последние калории таяли в мировом пространстве, ничего не оставалось иного, как по-детски рано забираться в постели, укрывшись всем, чем можно, и пускаться в долгие беседы, темы которых свободно переходили от литературоведения к нефизическим сторонам физики, от науки к жизни.

Зарабатывать надо было не только на дрова. Книги (без которых не мог обходиться завзятый книголюб), театры, концерты — все это не умещалось в студенческий бюджет. Но заработок был только одной из причин, побуждавших Бронштейна писать популярно о науке. Ему нравилось само это занятие. У него была потребность объяснять, делать сложное ясным, раскрывать ход научной мысли.

И, надо сказать, время очень благоприятствовало такой потребности. В стране появилось много научно-популярных журналов с приложениями в виде брошюр. Было осознано могущество науки и техники (с учетом акцентов того времени — техники и науки) как инструментов общественного переустройства. В стране, можно сказать, действовал культ

знаний. Лозунгом эпохи стали слова «знание — сила». Не случайно, что журнал с таким названием родился именно тогда (в 1926 г.)

Читатели журнала «Человек и природа» в 1929 г. познакомились с новым именем. Отважный автор взялся рассказать о только что опубликованной работе Эйнштейна, в которой великий физик предпринял попытку объединить гравитацию и электромагнетизм. Тем, кто интересовался в те далекие годы фундаментальной физикой, можно позавидовать,— у них появился замечательный гид. Популярные статьи Бронштейна можно рекомендовать и современным читателям, интересующимся историей фундаментальной физики. А историк-биограф, прочитав статьи 1929—1930 гг. [54, 57—60], убеждается, что Бронштейн, занимаясь астро- и геофизикой, внимательно следил и за развитием фундаментальных областей физики. И становится легче понять, почему в апреле 1930 г. заведующий теоретическим отделом Ленинградского физико-технического института Я. И. Френкель написал на заявлении 23-летнего Бронштейна о приеме на работу:

« М. П. Бронштейн является исключительно талантливым физиком-теоретиком, с широкими интересами, большой инициативой и чрезвычайно большими познаниями. Я не сомневаюсь, что он будет одним из наиболее ценных сотрудников теоретического отдела института и лаборатории» [284, с. 210].

Глава 3. В Ленинградском физико-техническом институте

Чтобы яснее представить обстоятельства, в которых оказался М. П. Бронштейн после окончания университета, расскажем кратко о ленинградской теоретической физике и о Физико-техническом институте, какими их застал молодой теоретик.

3.1. Теоретическая физика в Петербурге и Петрограде

В Петербурге начала XX в. теоретической физики, в сущности, не было. И дело здесь не в отсталости царской России — сама теоретическая физика, как отдельная область науки в нынешнем понимании, тогда еще не обособилась. Гиганты физики XIX в., такие, скажем, как Максвелл и Больцман, не были «чистыми» теоретиками. У них были и экспериментальные исследования.

В числе первых физиков-теоретиков наряду с Планком, Эйнштейном и Бором был Пауль Эренфест (18801933), ученик Больцмана. Отправившись по окончании Венского университета в Геттинген, Эренфест встретил там Т. А. Афанасьеву, выпускницу естественного факультета Бестужевских курсов, ставшую вскоре его женой. В 1907 г. они приехали в Петербург. Пять лет, прожитых Эренфестом в этом городе, сыграли большую роль в становлении теоретической физики в России

[285].

Эренфест организовал «Кружок новой физики», в котором студенты и преподаватели университета, Политехнического и Электротехнического институтов приобщались к новой физике. А физика переживала тогда революционную перестройку, связанную с квантовыми и релятивистскими идеями. В этой перестройке активно участвовал и Эренфест.

На заседаниях кружка петербургские физики (В. Р. Бурсиан, А. Ф. Иоффе, Ю. А. Крутков, Д. С. Рождественский и другие) и математики (С. Н. Бернштейн, Я. Д. Тамаркин, А. А. Фридман и другие) выступали с докладами не только о новых работах, но и о своих собственных исследованиях. Эренфест был прекрасным физиком и учителем, способность которого критически воспринимать новые теории высоко ценили Эйнштейн, Бор и Паули.

Кружок Эренфеста, собиравшийся у него на квартире, в какой-то мере противостоял официальной университетской физике Петербурга (Хвольсон, Боргман, Булгаков), хотя в университете учились и работали многие кружковцы. Собрания кружка продолжались и после отъезда Эренфеста в 1912 г. в Лейден (где он занял кафедру Лоренца). Из эренфестовского кружка вышли теоретики В. Р. Бурсиан и Ю. А. Крутков, начавшие исследовательскую работу в канун мировой войны.

К середине 10-х годов центром новой экспериментальной

физики в Петрограде стал Политехнический институт, где в лаборатории, возглавлявшейся профессором В. В. Скобельцыным, начал исследования А. Ф. Иоффе — ученик Рентгена, прошедший школу в кружке Эренфеста. Иоффе читал также курсы лекций в университете, институте Лесгафта. Вскоре вокруг него образовалась группа молодежи, преимущественно из числа студентов и аспирантов (называвшихся тогда «оставленными для подготовки к профессорской деятельности»): Я. Г. Дорфман, П. Л. Капица, П. И. Лукирский, Н. Н. Семенов, Я. И. Френкель и другие. «Семинар по новой физике» в Политехническом продолжал традиции эренфестовского кружка: наряду с обзорами новейших достижений физики на нем докладывались собственные работы «семинаристов». Единственным теоретиком среди них был Я. И. Френкель. На семинаре в 1916—1917 гг. он докладывал свои работы по классической электродинамике и электронной теории. Мировая война и блокада, последовавшая за революцией, не способствовали развитию физики: в условиях разрухи почти невозможны стали экспериментальные исследования, не поступала физическая литература, были затруднены «междугородние» контакты физиков, не говоря уж о международных. Однако после революции в развитии российской физики произошел коренной перелом. В 1918 г. в Москве ученик П. Н. Лебедева академик П. П. Лазарев организовал Институт физики и биофизики. В Петрограде инициаторами организации новых институтов стали А. Ф. Иоффе, М. И. Неменов и Д. С. Рождественский; при поддержке Советского правительства возникли Государственный рентгенологический и радиологический институт (ГРРИ) и Государственный оптический институт (ГОИ). Вскоре ГРРИ «расщепился» на Рентгеновский (медико-биологический) институт, Радиевый институт (во главе с В. И. Вернадским) и Физико-технический рентгенологический институт (ФТИ), директором которого стал А. Ф. Иоффе.

Теоретическая физика в Петрограде развивалась в основном в четырех центрах: ФТИ, ГОИ, университете и Политехническом институте. Физиков-теоретиков в то время насчитывались единицы, а задачи стояли перед ними огромные. Необходимо было налаживать исследовательскую работу, читать лекции в вузах, широко раскрывших свои двери для тех, кто до революции не мог мечтать о высшем образовании.

Теоретический кабинет в ФТИ был очень мал: В. Р. Бурсиан, Я. И. Френкель и совсем молодые их ученики, студенты организованного при Политехническом институте физико-механического факультета Г. А. Гринберг, Г. Х. Горовиц, Н. Н. Миролюбов, Б. Н. Финкельштейн.

Ведущим теоретиком в ГОИ был Ю. А. Крутков. При ГОИ работала возглавлявшаяся Д. С. Рождественским Атомная комиссия. В ее задачу входила разработка теории спектров сложных атомов. К работе в комиссии были привлечены также В. Р. Бурсиан, А. Н. Крылов, Н. И. Мусхелишвили, А. А. Фридман. Теоретики ГОИ имели тесные связи с университетом, научные собрания (семинары) Института физики при университете и ГОИ часто бывали совместными. С первой половины 20-х годов все большее участие в них стал принимать молодой В. А. Фок, а также профессор университета — В. К. Фредерикс. Поскольку теоретиков было очень мало, многие физики ГОИ одновременно работали в ФТИ.

3.2. ФТИ и его семинары

Бронштейн пришел в ЛФТИ в мае 1930 г. Это было примечательное в истории института время. После десяти лет стремительного роста дирекция института, при поддержке правительства [265], сочла полезным направить группы ведущих сотрудников ЛФТИ для организации новых — родственных — институтов. Первым еще в 1927 г. от ФТИ отделился Теплотехнический институт. В 1928 г. в Томске был организован Сибирский ФТИ, в который из ЛФТИ поехал П. С. Тартаковский. В 1929 г. был открыт Украинский физико-технический институт (УФТИ) в Харькове и туда перешла группа ведущих сотрудников ЛФТИ во главе с И. В. Обреимовым — заместителем Иоффе; заведующим теоротделом УФТИ стал Д. Д. Иваненко (в ЛФТИ с 25.10.1931). ЛФТИ «обескровливал» себя ради решения задачи государственного масштаба — создания научных центров в других городах страны. Помимо этого, Иоффе считал, что эффективно руководить очень крупным институтом невозможно. Поэтому из больших секторов ЛФТИ (Н. Н. Семенова и А. А. Чернышева) в 1931 г. были образованы Институт химической физики (ЛИХФ) и Электрофизический институт (ЛЭФИ).

В начале 1930 г. в ЛФТИ была следующая структура. Основной единицей был «сектор», который объединял несколько «групп», группа делилась на «бригады». Не описывая секторы Семенова и Чернышева, приведем сведения о физико-механическом секторе Иоффе, указывая заведующих групп и общее количество сотрудников.

Группа 1. Энергетические проблемы (А. Ф. Иоффе, 28 сотр.): бригады термоэлектрических явлений, фотоэлектрических явлений, гелиотехники, источников и приемников коротких волн.

Группа 2. Кристаллофизика (И. В. Курчатов. 17 сотр.): бригады изучения сегнетоэлектриков, жидких кристаллов, физики льда, кристаллизации.

Группа 3. Физика металлов (Я. Г. Дорфман, 43 сотр.): бригады изучения фазовых превращений, пластической деформации, свойств металлов при динамических нагрузках, роли свободных электронов, магнитных свойств, поверхностных слоев.

Группа 4. Биофизика (Г. М. Франк, 4 сотр.).

Группа 5. Условия испускания рентгеновских лучей и электронов (П. И. Лукирский, 10 сотр.): бригады механизма возникновения рентгеновских лучей и их действия на атомы и электроны, природы испускания электронов.

Группа 6. Теоретическая физика (Я. И. Френкель, 13 сотр.).

Ее состав приведем полностью, по документу из Архива ФТИ: «Бригада 1-я — Теоретическая физика. Бригадир В. Р. Бурсиан, ст. инженер Л. Д. Ландау, инженеры В. А. Фок, В. А. Кравцов, А. Г. Самойлович, Б. И. Давыдов, А. И. Тиморева, научный сотрудник Г. А. Мандель, ст. инженер М. П. Бронштейн [фамилия вписана карандашом]. Бригада 2-я — Математическая физика. Бригадир М. В. Мачинский, инженер А. А. Марков, инженер П. Артемов».

Наконец, была в ЛФТИ еще и Группа методологии физики (Л. Г. Рубановский, 4 сотр.).

Структура ЛФТИ не раз менялась. В августе 1930 г. произошло очередное изменение: основной единицей осталась «группа» (физическая — А. Ф. Иоффе, механическая — Н. Н. Давиденков, изоляционная — А. Ф. Вальтер), следующей ступенькой сделался «отдел», объединявший несколько лабораторий (структуру института мог менять сам директор). Всего в ЛФТИ было 220 сотрудников, из них 80 технических.

В августе 1930 г. в теоретическом отделе ЛФТИ по-прежнему работало 13 человек. В ЛИХФе (формально еще не выделившемся из ЛФТИ) также был создан теоротдел, которым на общественных началах заведовал Я. И. Френкель, его сотрудниками стали Л. Э. Гуревич, С. В. Измайлов, М. А. Ельяшевич, О. М. Тодес, там начал работать Я. Б. Зельдович. В ЛЭФИ теоретическую и математическую физику представлял Г. А. Гринберг. Добавив сюда Ю. А. Круткова и Г. А. Гамова, работавших в ГОИ и ЛГУ, мы, пожалуй, этим перечислим всех ленинградских теоретиков.

Если учесть, что в Москве тогда физиков-теоретиков было не больше, чем в Ленинграде, то станет ясно, что в начале 30-х годов эта профессия была не более распространенной, чем профессия космонавта в наши дни!

Но, как и в наши дни, тогда для полноценной жизни теоретику, кроме бумаги и ручки, было необходимо общение с коллегами, самая эффективная форма которого — семинары.

Научные семинары в ЛФТИ организовывались в соответствии с проблемами, которые здесь разрабатывались.

Помимо двух постоянно действующих семинаров — общеинститутского и теоретического, не реже чем раз в месяц собирался ученый совет института. Пройдет пять лет, и членом этого совета станет М. П. Бронштейн; 16 мая 1936 г. этот же совет утвердит его в звании действительного члена института (в 30-х годах существовало такое ученое звание). На заседаниях ученого совета обсуждались научно-технические проблемы, связи между отделами института и его «внешние» связи.

Наряду с ученым советом ЛФТИ функционировали групповые советы и тематические семинары. Некоторые семинары

существовали недолго (пока соответствующие проблемы занимали видное место в деятельности института). Некоторые становились постоянными: ядерный семи$_1$ нар, собиравшийся по четвертым дням шестидневки[14], с 14 до 16 ч, семинары по твердому телу, по электрическим явлениям, по жидким кристаллам, по механическим свойствам.

На каждом семинаре ставились и реферативные теоретические доклады, обычно при содействии сотрудников теоротдела, «приписанных» к той или иной группе или семинару. В обязанности теоретиков входили также консультации для сотрудников-экспериментаторов — проведение необходимых расчетов или решение частных теоретических задач. В частности, за ядерными семинарами И. В. Курчатова и А. И. Алиханова ученый совет ЛФТИ в 1936 г. специально закрепил М. П. Бронштейна, освободив его от теоретической опеки над полупроводниковыми лабораториями. В конце 1936 г. деятельность сотрудников теоротдела была регламентирована специальным приказом, в соответствии с которым они были обязаны: «а) посещать общеинститутские семинары, б) посещать теоретический семинар, в) представить расписание часов, отведенных ими для консультаций и ознакомления с работами той лаборатории, к которой данный теоретик прикреплен» [104].

Разумеется, основным в деятельности сотрудников теоротдела была сама теоретическая физика: об этом, как о само собой разумеющемся, в приказе не говорилось. Появление приказа было связано с критикой теор-отдела за недостаточно тесную связь его сотрудников с экспериментальными лабораториями. Некоторые критики предлагали даже распустить теоротдел, закрепив его сотрудников за лабораториями. Против этого энергично возражали не только сотрудники отдела, но и А. Ф. Иоффе, П. П. Кобеко и другие.

В принятой ученым советом в 1931 г. программе теоротдела фамилия Бронштейна фигурирует в работах по изучению аномальных явлений в диэлектриках: так в то время назывались исследования сегнетовой соли, возглавленные И. В. Курчатовым. Отдельной темой за Бронштейном закреплялась теория лучистого равновесия в звездах и туманностях.

В конце 1935 г. на совете обсуждался отчетный доклад А. Ф. Иоффе о деятельности ЛФТИ, с которым ему предстояло выступить в Москве, на мартовской сессии АН СССР 1936 г. Материалы по теоретической физике в ЛФТИ было поручено подготовить Я. И. Френкелю и М. П. Бронштейну. На заседании Бронштейн подчеркнул роль конференций, организованных ЛФТИ, в развитии физики, говорил об идейном содержании

физики, а также о ситуации в стране с изданием книг и журналов по физике. Бронштейн выступая оппонентом диссертаций, защищавшихся в ЛФТИ, входил в комиссии по приему аспирантов, по подведению итогов работы института за год и т. д. К середине 30-х годов у Матвея Петровича был уже высокий авторитет в ЛФТИ.

Научная жизнь его, конечно, теснее всего была связана с семинаром теоретического отдела.

Семинар, руководимый Я. И. Френкелем, начал собираться еженедельно уже в первой половине 20-х годов. Его ядро составляли сотрудники ФТИ, а также студенты физмеха. Приходили физики из университета и других вузов. В 20-е годы постоянных участников было примерно десять, в 30-е — вдвое больше. Семинар назывался городским, но приезжал часто Тамм из Москвы, Ландау из Харькова, физики из Киева, Свердловска, Одессы. Доклады на семинаре делали Бор, Борн, Дирак, Ланжевен, Ф. Лондон, Мотт, Пайерлс, Паули и другие.

Обстановка на семинаре была неформальной, демократической. Поощрялась научная критика «невзирая на чины и звания», вопросы докладчику было принято задавать по ходу дела. Не меньшее значение имела атмосфера доброжелательности.

Френкель, владея математическим аппаратом физики, экономно употреблял его при изложении физических результатов. Промежуточные выкладки не очень его интересовали. Он старался получить результат простыми рассуждениями, на пальцах, и был уверен, что подобный путь имеется всегда,— нужно только его найти, привлекая к решению физической и одновременно педагогической задачи аналогию, модель, делая упрощения. Характерную оценку дал Френкель одной диссертации: «Численные расчеты, проведенные автором, чрезвычайно сложны. Можно удивляться терпению и настойчивости диссертанта, который проложил дорогу через целый лес выражений... Я бы не решился на такой подвиг и поискал бы более простого пути. Не только усилие движет науку, но и леность. Надо было придумать способ, который привел бы к результату более простым путем. Надо было получить простой асимптотический результат, получить его простым способом, на пальцах, чтобы легче было составить представление, как же это выходит» [284, с. 436].

Молодые теоретики (и Бронштейн, в частности), быть может, не разделяли такого отношения к математике (которая, как иногда говорят, бывает «умнее человека»), но и для них подчеркнуто физический подход был очень полезен.

Полупроводники, твердые и жидкие тела (механические и молекулярные свойства), фазовые переходы, физика ядра, магнетизм — словом, вся физика представала на семинарах ФТИ. Сотни докладов, десятки докладчиков... Доклады Бронштейна особенно часто вспоминают участники тогдашних физтеховских семинаров. Вспоминают его реферат доклада Паули по магнетизму на Сольвеевском конгрессе 1930 г. (о мастерстве молодого докладчика свидетельствует сохранившийся подробный конспект, сделанный В. Р. Бурсианом [98], не так давно принимавшим экзамены у докладчика в университете). Рефераты полупроводниковых работ А. Вильсона завершились докладом Бронштейна с собственными результатами в этой области. В середине 30-х годов, когда теоретики ФТИ занялись физикой ядра, Матвей Петрович начал опекать работы отдела ядерной физики ФТИ. Он выступал с докладами на ядерном семинаре И. В. Курчатова, а на теоретическом семинаре — с обзором экспериментальных результатов группы Ферми по ядерным реакциям на медленных нейтронах.

В Физтехе наряду с теоретическим, полупроводниковым, ядерным, специальным нейтронным, философским семинарами по пятницам собирался еще и общеинститутский семинар, на которомпредседательствовал А. Ф. Иоффе. Заседания проводились в помещении библиотеки, а с середины 30-х годов — в актовом зале. На этом семинаре докладывались и экспериментальные, и теоретические работы, выступали физики из других институтов, из-за рубежа. Атмосфера физтеховских семинаров 30-х годов, необычайно способствовавшая развитию науки, ярко передана в «научно-фантастическом» очерке «Семинар» Вл. Волкова (псевдоним известного советского теоретика, физтеховца, В. Б. Берестецкого) [134]. В персонажах этого очерка можно узнать Иоффе, Френкеля, Ландау и Бронштейна.

Обрисовав в общих чертах научное окружение М. П. Бронштейна, вернемся к 1 мая 1930 г., к времени его поступления в ЛФТИ, и проследим главные события его научной жизни.

Высокая оценка, которая содержалась в словах, написанных заведующим теоротделом ФТИ на заявлении Бронштейна (и приведенных в конце гл. 2), не была лишь щедрым авансом. Я. И. Френкель имел возможность узнать молодого теоретика. Маем 1930 г. помечена их совместная работа [9].

3.3. «Квантование свободных электронов в магнитном поле»

К тому времени построение нерелятивистской квантовой механики было завершено, шел интенсивный процесс приложения ее принципов к решению конкретных задач. Главным достижением релятивистской квантовой теории было уравнение Дирака. Но наряду с замечательным следствием этого уравнения — описанием магнитного момента электрона, другие выводы представлялись парадоксальными. Один из них — что энергия свободных электронов в однородном магнитном поле квантуется — сделал в 1928 г. Раби [256] на основе формального решения уравнения Дирака. Раби ограничился констатацией этого факта, не проанализировав его экспериментальных следствий. Его работа была математически безупречна и, с современных позиций, не требовала перепроверок и обоснований. Иначе обстояло дело в то время. Вспоминая о нем, Ландау в 1958 г. писал: «Я еще помню, как в 1930—31 гг. все физики, включая самого Дирака, пришли к выводу, что его теория при всей своей красоте неправильна, так как дает экспериментально абсурдные результаты: приводит к существованию частиц, которых заведомо не существует» [217] (имеются в виду позитроны, экспериментально обнаруженные

в 1932 г.).

В первом абзаце статьи Френкеля и Бронштейна примечательна фраза: «Для того чтобы убедиться, что дискретный ряд уровней энергии свободного электрона, движущегося в магнитном поле, не является одним из парадоксов, связанных с уравнением Дирака, а соответствует реальному физическому явлению, хотя еще и не обнаруженному экспериментально, полезно показать, что такое квантование неизбежно возникает во всякой форме квантовой теории — как в "полуквантовой" механике Бора, так и в волновой механике Шредингера и Дирака».

Квантуя вращательное движение электрона в магнитном поле с помощью боровского постулата $mvr = nh$, а затем с помощью «более правильного» условия $[mv — (e/c)A]r = nh$ (A — вектор-потенциал магнитного поля H), они получают равноотстоящие уровни энергии $W = nh(ш$ и $W = 2nhco_L$ ($(ӣ_ь = eH/2mc$ — частота Лармора).

Решение соответствующей задачи квантовой механики подтвердило и уточнило вторую формулу для спектра $W = (2n$

$+1)hco_L$, дав энергию основного состояния $W_0 = h(j)_L$. Авторы установили правила отбора, показав, что при переходах возможн4 о излучение только одной длины волны $X = 7tc/co_L = 10^4$ (Гс/Н) см. Это первое указание на резонансный характер взаимодействия квантовых электронов с излучением — процесса, который играет важную роль в современной магнитооптике твердого тела (экспериментально циклотронный резонанс в металлах и полупроводниках наблюдался в начале 50-х годов).

В 1930 г. такое излучение было недосягаемо для эксперимента, и авторы обращают внимание на другой эффект — «тенденцию свободных электронов к спонтанному переходу в основное состояние с минимальной вращательной энергией W_o». Эту тенденцию авторы назвали весьма парадоксальной, но не заметили, что от найденного ими спектра открывался путь к предсказанию нового явления — диамагнетизма электронов в металлах.

Такое предсказание сделал другой физтеховец, Ландау, в работе [213], которая вышла в свет практически одновременно со статьей Френкеля—Бронштейна. Весной 1930 г. Ландау в качестве рокфеллеровского стипендиата находился в Англии. Стимулом к его размышлениям, по-видимому, послужили обсуждения с П. Л. Капицей аномальных свойств электропроводности висмута в сильных магнитных полях (эффект Капицы). А их итогом стала теория диамагнетизма Ландау. В первой части своей работы Ландау решает ту же задачу, что и Френкель с Бронштейном, и получает, естественно, тот же энергетический спектр.

Любопытно отметить, что за четыре месяца до статьи Раби в том же журнале была помещена статья В. А. Фока о квантовании гармонического осциллятора в магнитном поле. Осциллятор с частотой $co = 0$ можно рассматривать как свободный электрон. Формулы для квантования его энергии в магнитном поле в пределе со—<ю следуют из фоковских формул для осциллятора, однако это осталось незамеченным [253].

3.4. «Новый кризис в теории квант»

Первым крупным научным собранием, в котором участвовал Бронштейн, был Всесоюзный съезд физиков. Так назвали седьмой съезд, проводившийся Российской ассоциацией физиков 19—24 августа 1930 г. в Одессе. Прибыло более 800 делегатов, темы двухсот докладов охватывали всю физику. Среди зарубежных участников были А. Зоммерфельд, В. Паули, Ф. Саймон, Р. Пайерлс, Ф. Хоутерманс.[15]

Для Одессы съезд был большим событием. Пленарные заседания проходили в здании горсовета, открытие транслировалось по радио. Городские власти позаботились об участниках съезда, предоставив лучшие гостиницы, а для физической молодежи — комнаты в лучшем студенческом общежитии. Забавная подробность: делегаты имели право бесплатного проезда в трамваях. Было организовано бюро по обслуживанию делегатов: билеты в театры, кино, на экскурсии. Впрочем, наибольшей популярностью в свободные часы между утренними и вечерними заседаниями пользовались знаменитые одесские пляжи, особенно — в Лузановке .

Учитывая, что съезду предшествовала работа Бронштейна о квантовании свободных электронов в магнитном поле, можно было бы думать, что из шести секций съезда для него наиболее интересна была Секция электронной теории металлов. Тем более, что доклады на этой секции делали А. Зоммерфельд (о влиянии магнитного поля на электропроводность), И. Е. Тамм и С. П. Шубин (о селективном фотоэффекте), Л. В. Шубников.

Однако есть свидетельство, что наибольшее внимание Бронштейна тогда привлекал «Новый кризис теории квант». Так он озаглавил статью [64], написанную в августе—сентябре 1930 г. и опубликованную в журнале «Научное слово»[16].

Мастерскими штрихами обрисовав эволюцию физической науки, автор особое внимание обращает на то, что для физики, выходящей за пределы макромира, недостаточно представлений, «заимствованных из опыта дикаря, из опыта детской комнаты, короче говоря, из макроскопического опыта». И затем выразительно рисует состояние «нового» кризиса в квантовой физике, связанного с необходимостью квантово-релятивистской теории. («Старый» кризис разрешился в середине 20-х годов заменой теории Бора на квантовую механику.) У нового кризиса были различные проявления, из которых Бронштейн упоминает «±-трудность» уравнения Дирака (состояния с отрицательной энергией), бесконечность собственной энергии электрона, загадку

устройства атомного ядра (прежде всего проблему « внутриядерных электронов»).

Для всех этих загадок были характерны расстояния порядка размеров электрона и ядер $\sim 10^{-13}$ см. К этому добавлялись соображения о принципиальной неточности измерений, порожденной атомизмом вещества. Поэтому вполне разумным представлялось мнение, что для преодоления возникших трудностей квантовая механика «должна быть переделана таким образом, чтобы принципиальная невозможность измерять длины "внутриэлектронного порядка" нашла в теории адекватное выражение». Из статьи видно, что автор глубоко продумал возникшую ситуацию и понимает предварительность этих соображений. Но все же он с явным сочувствием пишет о том, что «у целого ряда физиков, прежде всего у Гейзенберга (Лейпциг), затем независимо от него у Иваненко (Харьков) и Амбарцумяна (Пулково), возникла идея "проквантовать пространство", т. е. построить такую теорию, в которой фигурировала бы "наименьшая возможная длина", нечто вроде "атома длины" (длины, которые меньше, чем этот "атом длины", не должны иметь никакого смысла)».

Половину статьи Бронштейн посвятил этой идее, видимо, под впечатлением дискуссий на совещании по квантовой механике в июне—июле 1930 г. в харьковском УФТИ. Из Харькова же была направлена статья В. А. Амбарцумяна и Д. Д. Иваненко [94] (датированная 21 июля), в которой предлагалось заменить обычное непрерывное евклидово пространство дискретной совокупностью точек, образующих кубическую решетку подобно бесконечному кристаллу. Дифференциальные уравнения поля заменялись на разностные *(df/dx* — Af /Ax), в решения входил шаг решетки, и появлялась возможность избавиться от бесконечной собственной энергии.

Однако при этом возникала фундаментальная трудность — совместить такое решеточное (явно неизотропное) пространство с теорией относительности[17]. Преодолеть эту трудность Амбарцумян и молодой английский математик Эрселл (H. D. Ursell) хотели, установив вероятностную связь наблюдений в разных системах отсчета, т. е. статистически обобщив преобразования Лоренца. Эти попытки, по свидетельству В. А. Амбарцумяна, Бронштейн обсуждал в докладе на Одесском съезде.

Он был не только наблюдателем бурных событий в теории решеточной геометрии. В открытке, адресованной Я. И. Френкелю и отправленной из Крыма 9 августа, т. е. после харьковского совещания по квантовой механике и перед Одесским съездом, мы

читаем [284, с. 212]:

«Дорогой Яков Ильич, посылаю Вам изображение дома, в котором я живу; моего окна не указываю, так как оно выходит в противоположную сторону.

Следуя Вашему указанию, веду себя примерно, купаюсь в море, делаю абсолютно безнадежные попытки научиться плавать, читаю Born'a — Jordan'a, Wintner'a (Unendlichen Matrixen) и детективные романы из мисхорской библиотеки, наслаждаюсь спокойствием, прекратил перевод Дирака после того, как Димус не внял мне и не прислал 1-й главы, проверял формулы Амбарцумиана по теории решетки и нашел, что они ошибочны и т. д.

Тронут Вашим теплым отношением к моим брюкам; впрочем, в этом климате многие носят вместо них трусы.

Здесь поселился А. Ф. Иоффе и на солнце греет уж холодеющую кровь (это из Пушкина). Привет Сарре Исааковне.

Ваш М. Бронштейн»[18].

Тема квантования пространства не была оставлена и во время морской прогулки на теплоходе «Грузия» в Батуми, устроенной для участников съезда. Далеко не все относились оптимистически к задаче построения квантовой геометрии. Паули, например, считал ее безнадежной. Бронштейн приводит его слова: «Кто в непрерывном пространстве роет другому яму, сам в нее попадет!». Эта фраза содержалась в передовой статье, написанной Паули для первого номера газеты «Am Morgen nach der Schlacht» (Наутро после битвы), изданного Бронштейном 26 августа 1930 г. Газета давала отчеты о теоретических битвах, происходивших накануне вечером в кают-компании (издателю наверняка пригодился опыт «Physikalishe Dummheiten» и «Astrocabical Journal»).

В пылу одной из таких битв прозвучало двустишие:

Die Esel fassen kaum es Die Quantelung des Raumes[19].

(«Ослы едва ли постигнут квантование пространства», или, рифмованно: «Ослы не только из упрямства не смогут квантовать пространство».)

Подводя итог рассмотрению «нового кризиса» квантовой теории, Бронштейн подчеркивает общую тенденцию развития науки, состоящую в вытеснении некоторых наглядных представлений, унаследованных от классической физики: «Реально существующий мир может и не соответствовать нашим утверждениям о нем, какими бы необходимыми они нам ни казались». Он приводит мнение Гейзенберга: основной грех квантовой электродинамики — использование в микромире

уравнений Максвелла и понятия поля, основанных на классических представлениях о движении электрона и имеющих только макроскопический смысл. Это обвинение, воплощенное в формулы Ландау и Пайерлсом, сыграло стимулирующую роль и было «нейтрализовано» только анализом Бора, Розенфельда 1933 г. (подробнее см. гл. 5).

В статье Гейзенберга [157], датированной августом 1930 г., остался след его попыток развить дискретную геометрию. Он пишет о минимальной длине, об уравнениях в конечных разностях, но приводит простое соображение против нового дискретного подхода. В релятивистской области, когда скорости частиц порядка скорости света *c,* массы покоя электрона и протона пренебрежимы по сравнению с энергией частиц, и, следовательно, квантово-релятивистская теория должна базироваться только на фундаментальных константах *c* и h, а из них нельзя составить величину размерности длины (которая могла бы претендовать на роль минимальной). Это соображение повторено в работе Бора и Розенфельда 1933 г., в которой на основе тщательного анализа процедуры измерения, допустимой в квантовой электродинамике, было спасено понятие « поле в точке», поставленное под вопрос Ландау и Пайерлсом.

Сейчас-то известно, что в квантово-релятивистской области могут быть существенны не только *c* и h, нельзя забывать о третьей универсальной константе — гравитационной постоянной *G.* Но в 30-е годы считалось (с вескими основаниями практического — количественного — характера), что гравитация надежно отделена от остальной физики. Так во всяком случае думали и Гейзенберг, и Бор. Недооценивали гравитацию, впрочем, не все. Позицию Эйнштейна можно назвать даже переоценкой из-за того, что она опиралась *только* на константы *c* и G. Истина, как известно, располагается в золотой середине. Ближе всего к ней был герой нашей книги, который в 1935 г. впервые вовлечет все три универсальные константы, c, *G* и h, в глубокий физико-математический анализ. И одним из его результатов станет предсказание неизбежной глубокой перестройки физической картины мира в cGh-области. Но об этом мы будем говорить в главе 5.

А статью 1931 г. Бронштейн кончает такими словами: «Чувство растерянности, охватившее большинство физиков-теоретиков при виде неразрешенных и кажущихся неразрешимыми трудностей, является характерной чертой переживаемого теорией кризиса».

Растерянность была так сильна, что в течение нескольких лет многие физики верили в гипотезу Бора, согласно которой в

грядущей перестройке теории придется пожертвовать даже законом сохранения энергии (подробнее об этом в гл. 4). Действовала, правда, еще инерция революционности, характерной для прошедшего тридцатилетия.

И не нужно думать, что Паули, скептически относясь к идее дискретной геометрии и не поверив в гипотезу Бора (противопоставив ей нейтринную гипотезу), в целом иначе оценивал «новый кризис». Так, в 1933 г., уже после того как фундаментальная трудность уравнения Дирака превратилась в триумфальное предсказание античастиц, когда неказистая идея нейтрино побеждала безумно храбрую боровскую гипотезу, Паули писал, что создание подлинной квантово-релятивистской теории «приведет к существенному изменению понятия пространства-времени (а не только понятия поля) в областях размером h/mc и соответственно h/mc » [249, с. 190]. И это убеждение властвовало над поколением физиков, переживших «новый кризис».

Гипотеза минимальной длины, родившаяся во время «нового кризиса», была попыткой квантово-релятивистского обобщения геометрии. Такие попытки имеют собственную интересную историю, которую надо начинать с программы единой теории поля 20-х годов[20] [127]. Вот что, например, писал Бронштейн в 1929 г. в связи с очередным проектом единой теории: «Построение такой геометрии пространства и времени, из которой вытекали бы не только законы тяготения и электромагнитного поля, но и квантовые законы,— вот величайшая задача, которая когда-либо стояла перед физикой» [54]. Так что энтузиазм по поводу квантования пространства возник не на пустом месте.

По мнению Бронштейна, «если даже программа дискретной геометрии не осуществится, некоторые следы этой теории все же должны в физике остаться» [64]. И действительно, идея квантовой геометрии, или, более осторожно, идея фундаментальной длины (ограничивающей область применимости классической евклидовой геометрии), с тех пор не исчезала из поля зрения теоретиков [200]. В разные времена с ней связывалось больше или меньше надежд. В 60-е годы энтузиастом этой идеи был, в частности, И. Е. Тамм. Выдвигались разные проекты квантовой геометрии (некоммутирующие координаты, конечные геометрии, искривленное импульсное пространство и др.). При этом фундам$_{-1}$е$_{3}$нтальную длину привязывали к той же величине 10^{-13} см, что и в 1930 г., однако проверка квантовой электродинамики на малых расстояниях показала, что по крайней мере еще на несколько порядков вглубь действует евклидова геометрия.

Попытки обобщить пространственно-временное описание долгое время были подчинены физике элементарных частиц в старом понимании — без учета гравитации. Все эти попытки, как считается, принадлежат только истории. Вместе с тем в современной физике распространено мнение (имевшее до 70-х годов только отдельных сторонников), что обобщение пространственно-временного описания неизбежно. Но связывается это обобщение с программой построения единой теории всех взаимодействий, включая гравитацию, и квантовой космологии. И характеризуется оно так называемой планковской длиной) =10- см.3 1/233

Первые основания для такого прогноза обнаружил Бронштейн в 1935 г. Подробнее об этом мы будем говорить в главе 5, а пока опять вернемся в 1930-й год, в «новый кризис теории квант».

В начале статьи Бронштейн рассказывает о том, как собравшиеся у Бора в Копенгагене весной 1930 г. видные знатоки квантовой физики под тяжестью проблем квантовой теории (каждую из которых Паули отмечал, трубя в рог) с шутливой торжественностью отказывались от своей профессии. Несмотря на это и на заключительные слова Бронштейна о растерянности, охватившей теоретиков, от его статьи в целом веет вовсе не унынием, а предвкушением грандиозных событий, предстоящих неизбежных побед человеческого разума, которые будут тем триумфальней, чем серьезней кризис.

Однако в редакции «Научного слова», по-видимому, не захотели, чтобы советская физика переживала какой-либо кризис.

Поэтому статью Бронштейна снабдили редакционным предисловием, в котором отмечалось, что автор, касаясь «одного из наиболее острых кризисов буржуазной мысли в области теоретического естествознания — кризиса современной теоретической физики, не освещает связи этого кризиса с кризисом буржуазного идеалистическо-махистского миросозерцания, вообще не видит выхода из теоретического тупика путем перестройки всего теоретического естествознания на базе диалектического материализма». Публикация статьи оправдывалась только тем, что «автор дал очень живую и яркую картину современной квантовой физики, доступную и для неспециалистов». Не удовлетворившись предисловием, в редакции дописали к статье и последние слова: «Преодоление кризиса невозможно внутренними силами буржуазного теоретического естествознания» (по воспоминаниям А. И. Ансельма, возмущенный Бронштейн подумывал о том, чтобы воздействовать на непрошеных соавторов в форме, совершенно не

свойственной теоретику).

Отсюда можно получить некоторое представление о тогдашней социально-научной атмосфере, столь отличной от нынешней. Не учитывая этого, трудно понять научную жизнь 20—30-х годов.

3.5. Наука и общество

В Советской России первых десятилетий обществоведы внимательно следили за процессами, происходящими в естествознании. Для этого были причины. В естественных науках, достижения которых воплощаются в новой технике, видели важнейшее средство преобразования производительных сил, а тем самым согласно марксизму и общества в целом. Кроме того, революционному социальному переустройству была созвучна революция в естествознании, происходившая тогда и связанная прежде всего с релятивистской и квантовой физикой.

Особенно горячо принималась теория относительности. В начале 20-х годов имя Эйнштейна стало почти нарицательным. Любого человека, по многу раз на день отвечающего на вопросы «где» и «когда», задевали выводы теории относительности о пространстве и времени. Сильное впечатление также произвели наблюдения английских астрономов, подтвердившие теорию немецкого физика,— в мире, еще недавно расколотом мировой войной и национализмом. Идеи теории относительности (или, вернее, то, что под ними понималось) проникали в книги этнографа, религиозного мыслителя, поэта; в 20-е годы появились десятки популярных изданий по теории относительности [130].

Слова «горячий прием», однако, характеризуют только абсолютную величину отклика, но не его знак. А знаки были оба: и плюс, и минус. По словам Планка, «новые научные истины побеждают не так, что их противников убеждают и они признают свою неправоту, а большей частью так, что противники эти постепенно вымирают, а подрастающее поколение усваивает истину сразу» [254, с. 656]. Человеку, знающему о теории относительности «с пеленок», легко преуменьшить усилия, которые требовались физику, воспитанному в дорелятивистскую — эфирную — эру, чтобы усвоить новый взгляд. Достаточно вспомнить, что даже у А. Пуанкаре, сделавшего многое для создания теории относительности, имеются антирелятивистские высказывания.

Наиболее видным противником теории относительности в нашей стране стал профессор физического факультета Московского университета А. К. Тимирязев (1880—1955). Вместе с ним был известный электротехник академик В. Ф. Миткевич (1872—1951) и еще ряд физиков, философов и журналистов. Когда противники новых идей исчерпывали физические и полуфизические доводы, они переходили к нефизическим (или даже антифизическим). Естественно, предпочитали брать на

вооружение доводы, наиболее сильные в данных социально-культурных обстоятельствах. Когда общественная жизнь определялась противостоянием социально-экономических укладов, наиболее сильные нефизические аргументы относились к сфере философии и политики.

Не следует, однако, думать, что взаимодействие физики со сферой идеологии имело только недоброкачественный характер и проводилось только ретроградами от науки, выжившими из творческого возраста. Пик философских дискуссий по теории относительности, например, приходится на вторую половину 20-х годов, и уже тогда было, в сущности, выработано философское отношение к науке, принятое в наше время. Уже тогда было осознано, что научная теория не может противоречить подлинно научной философии, а выводы теории относительности вполне соответствуют диалектической взаимосвязи пространства, времени и движения [263, 177].

В советской науке быстро рос удельный вес молодежи. В науку устремился поток молодых людей из социальных слоев, отгороженных ранее от нее высокими барьерами. Обычное для периодов спокойного развития науки влияние маститых «геронтов» и устойчивой иерархии существенно ослабло. С этими процессами был сопряжен стремительный переход российской науки из положения далекой провинции на мировой уровень.

Бурлящая идеологическая атмосфера и осознание ответственной социальной роли науки побуждали молодых ученых к «идеологизации» науки в гораздо большей мере, чем это обычно для нашего времени.

И тональность цитированного предисловия редакции к статье Бронштейна была нередкой для того времени. Например, в номере «Научного слова» со статьей Бронштейна, в разделе «Из жизни науки», была помещена пространная декларация, подписанная молодыми математиками (Л. А. Люстерником, Л. Г. Шнирельманом, А. О. Гельфондом, Л. С. Понтрягиным), с призывом к радикальной перестройке Московского математического общества, перед которым ставились, в частности, задачи «сблизить кадры математиков с пролетариатом, бороться за марксистское революционное миросозерцание в вопросах математики, за освобождение советской науки от идеологического плена буржуазной науки».

А в 1935 г. в «Известиях» появилась статья Л. Д. Ландау под названием «Буржуазия и современная физика». В этой статье обличалось влияние буржуазной идеологии на физиков Запада; Эддингтон и Джинс были в запале названы «физиками средней руки, чьи научные работы не слишком значительны»; под горячую

руку досталось даже Бору [215].

Такая идеологическая активность вызывалась не только энергией социального переустройства, высвобожденной революцией. Само развитие физики, прежде всего освоение теории относительности и квантовой теории, связанная с ними грандиозная перестройка фундамента и переосмысление всего здания физической науки обусловили повышенное внимание к вопросам методологии и философии физики в 20—30-е годы. Это было отличительным знаком времени и проявлялось в разных формах: в передовых статьях УФН, в том, что в составе ЛФТИ был самостоятельный отдел методологии физики, а на пленарном заседании одесского съезда физиков был поставлен большой доклад Б. М. Гессена, посвященный методологическим вопросам квантовой физики, взаимосвязи физики и философии.

Состояние фундаментальной теоретической физики того времени (физики квантовой, релятивистской и особенно квантово-релятивистской) было таким, что методологический анализ и соответствующие выводы стали неизбежной — явной или неявной — составляющей размышлений физика над «сокровенными тайнами природы». И Бронштейн вовсе не был склонен обходить тогдашние острые методологические углы физики. В его книгах и статьях, даже ранних, можно найти проницательные замечания и выразительные формулировки, которые, как указывают историки философии [178], стали заметным вкладом в анализ методологических уроков, преподанных физикам их революционно обновлявшейся наукой. И его статью в «Научном слове» нельзя было упрекнуть в недостаточном внимании к методологическим вопросам, которые ставило развитие физики.

Чтобы понять мотивы авторов редакционного предисловия к этой статье, вспомним, что 1930-й год — это второй год тяжелейшего кризиса, поразившего мировую капиталистическую экономику, и второй год жизни нашей страны в условиях первого пятилетнего плана. Тогда господствовало убеждение, что государственное планирование обеспечит бескризисное интенсивное развитие советской экономики. В плановой организации видели большие возможности и для ускоренного развития советской науки. На одесском съезде А. Ф. Иоффе сделал на эту тему большой доклад; в марте 1931 г. состоялась первая Всесоюзная конференция по планированию научно-исследовательской работы, в декабре 1932 г.— вторая. Можно представить себе, что человек, идеологически подкованный, но не слишком глубоко понимающий жизнь фундаментальной науки в ее истории и развитии, мог усмотреть аналогию между кризисом

экономическим и «новым кризисом теории квант» и решить, что советская физика не может отвечать за этот кризис и, более того, что именно советская наука, вооруженная передовой идеологией и организованная на плановых началах, может этот теоретический кризис преодолеть. По-видимому, так думал и составитель редакционного предисловия к статье Бронштейна.

Позиция самого автора, если судить о ней по содержанию его статей, а не искать прямолинейных деклараций, была вполне передовой — он глубоко понимал диалектику развивающегося научного знания. Ему, как представителю точных наук, также были видны преимущества плановой организации. Но он, прекрасно зная историю науки и зная о роли неожиданных экспериментальных открытий (таких, как открытия Беккереля и Рентгена) и теоретических идей (планковского кванта, эйнштейновской геометризации тяготения), видел и границы применимости планирования в науке. След соответствующих дискуссий сохранился в виде выразительного шаржа, на котором М. П. изображен в цыганской шали, со словами: «Планирование — это предсказание».

То, что Бронштейн считал прогноз развития фундаментальной физики делом сомнительным, нисколько не ослабляло его уверенности в том, что это развитие будет основано на квантовой механике и теории относительности, на объединении этих теорий.

3.6. Квантовая механика в начале 30-х годов

О взгляде Бронштейна на квантовую механику в 1931 г. можно узнать из двух его (помещенных в УФН рядом) рецензий: на «Принципы квантовой механики» Дирака и на книгу Вейля «Теория групп и квантовая механика». Эти рецензии на книги, посвященные одной области, многое говорят о состоянии этой области, о духе времени и о самом рецензенте. Поэтому прочитаем их внимательно.

«После нескольких лет весьма бурного развития квантовая механика наконец пришла в состояние относительной законченности. Ее основные идеи, казавшиеся в первое время чрезмерно абстрактными и парадоксальными, стали знакомыми и привычными; наряду с этим стали вырисовываться и границы применимости теории, а также и фундаментальные трудности, мешающие ей перешагнуть через эти границы,— иными словами, наступил период кризиса. Нет ничего удивительного в том, что у теоретиков появилась потребность оглянуться на пройденный путь, подвести итоги и тщательно проанализировать основные принципы теории для того, чтобы было видно, в каком направлении следует двигаться дальше»,— так начинается рецензия на книгу Дирака, книгу, которую Бронштейн считает выражением указанной потребности и «наилучшим из существующих изложений квантовой механики».

«Наилучшим» не значит «идеальным». По мнению Бронштейна, Дирак недостаточное внимание уделяет принципу неопределенности и недооценивает радикальность перемен, к которым должно привести построение релятивистской квантовой теории.

Недостаткам книги уделена четверть рецензии, но только потому, что они «бросаются в глаза гораздо меньше, чем ее совершенно неоспоримые достоинства. Главное из этих достоинств — простота». В главах, содержащих конкретные применения теории, Бронштейн видит педагогический образец, который превзойти невозможно, а в целом книга Дирака, по его мнению, «полностью опровергает легенду о том, что современная теоретическая физика представляет какой-то густой лес математических формул; все это оказывается ,,от лукавого"; на протяжении всей книги читатель не найдет ни малейших следов напыщенной учености и педантизма».

Мнение рецензента было весьма основательным. Он не

просто прочел книгу Дирака, а перевел ее, снабдив перевод (вышедший в 1932 г.) значительным числом пояснительных примечаний.

Книгу Вейля 25-летний рецензент оценивает совсем иначе, хотя и отдает должное «учености ее автора»: «Изложение повсюду отличается свойственной Вейлю элегантностью; однако оно не может избежать упреков в педантизме, если даже сделать соответствующую скидку на то обстоятельство, что книга Вейля есть не физическая книга, но лишь математическая книга по поводу физики. Тот, кто желает понимать квантовую механику, сделает большую ошибку, если будет изучать ее впервые по книге Вейля; книга носит эстетический характер и поэтому может быть рекомендована только читателю-математику, но не физику (хотя бы и теоретику)». Бронштейн отмечает, что физические результаты, к которым приводит книга Вейля, могут быть получены гораздо более коротким путем, и безо всякого почтения пишет, что изложение трудных вопросов квантово-релятивистской теории дано «в обычной для Вейля манере сочетания внешнего математического блеска с бедностью физическими идеями». В заключение, ввиду того что книга «не превосходит другие книги по квантовой механике по физическому материалу, будучи наиболее трудной из всех», следует суровый приговор о нецелесообразности ее перевода.

По некоторым сохранившимся свидетельствам может возникнуть впечатление, что среди молодых теоретиков начала 30-х годов был силен культ теории самой по себе. Имел даже хождение специальный обвинительный ярлык — «талмудизм», подразумевающий слишком сильное стремление возводить свои сухие теоретические построения на фундаменте «первых принципов» и пренебрежение к феноменологическому подходу, к вечно зеленеющему древу физической жизни[21]. Такого рода претензии к молодым теоретикам были, например, у Иоффе. По-видимому, сказалось то, что он был экспериментатором и не так легко принимал изменение стиля теоретической физики.

Поскольку свой язык теоретическая физика в большой мере берет у математики, можно было бы думать, что высокие требования к качеству физической теории подразумевают и поклонение математике. То, что это не так, видно из рецензий Бронштейна. Только физик-теоретик мог сказать о книге Дирака: «простой и ясный физический результат не затемнен педантическими конструкциями математика». И только физик-теоретик мог так непочтительно говорить о книге выдающегося математика Вейля.

Несмотря на то что в течение XX в. математическая

оснащенность теоретической физики стремительно возрастала, принципиальное различие между профессиями физика и математика, различие в мировосприятиях осталось. Вейль был математиком, хотя его имя принадлежит также истории теоретической физики (первый проект единой теории поля, идея калибровочной симметрии). Если ограничиться краткими характеристиками, можно сказать, что физик стремится раскрыть одно-единственное устройство Мироздания, стремится к единственной истине, а математик изобретает и исследует конструкции, заботясь только об их стройности и последовательности,— стремится получить все возможные истины[22].

Не следует думать, что отношение Бронштейна к математике было чисто потребительским. В отличие от Ландау в царице наук он видел не только «орудие производства». Например, по воспоминаниям его друга математика Г. И. Егудина, в один из обходов книжных магазинов Бронштейн увидел на прилавке книгу «Распределение простых чисел» А. Ингама (1936). Почти не зная эту область математики (что вполне естественно для физика), он решил воспользоваться книгой для того, чтобы разузнать об одном из немногих районов, не известных (и уже поэтому интересных) ему в стране физико-математических наук. И в тот же день по телефону увлеченно обсуждал новые впечатления.

Мнение Бронштейна о том, что книгу Вейля переводить не стоит, определялось и ее трудностью, и тогдашним «педагогическим» положением квантовой механики, и тогдашним бескнижьем. В 1931 г., когда квантовая механика имела всего несколько лет от роду и репутацию очень трудной, чуть ли не иррациональной, на русском языке не было еще ни одного ее систематического изложения. В этих условиях в первую очередь нужны были книги, не отпугивающие своей трудностью начинающих. Другое дело — «продолжающие». Наверняка, Бронштейн не предполагал, что русский перевод книги Вейля появится только через 55 лет. Уже в 1931 гвполне признавая право на существование для этой книги, «написанной математиком для математиков», он замечает, что протяженность математических путей, избранных автором, «перестает казаться таким большим недостатком изложения, хотя бы потому, что тот, кто гуляет, никогда не может сделать крюк». Использовал он книгу Вейля и в преподавании квантовой механики.

3.7. Космология в начале 30-х годов

Научные интересы Бронштейна охватывали всю фундаментальную физику. И первый его год в ЛФТИ, начавшийся с квантовой работы, завершился теорией относительности. Вместе с В. К. Фредериксом он написал энциклопедическую статью о теории относительности, а в УФН был напечатан его большой обзор по космологии.

Такой обзор был как нельзя более своевременным. После того как в 1929 г. Хаббл установил факт систематического красного смещения в спектрах удаленных галактик,— по существу, первый эмпирический факт космологического характера,— релятивистская космология получила возможность превратиться из физико-математической схемы в настоящую физическую теорию. На рубеже 30-х годов, после того как программа единой теории поля выдохлась и утратила доверие у большинства теоретиков [128], самым активным приложением общей теории относительности стала космология.

Бронштейн чувствовал себя свободно на том пересечении астрономии, физики и математики, каким была релятивистская космология. Общение с астрономами и работа в астрофизике давали ему уверенность в обращении с материалом, который сильно отличался от обычного в физике своей уникальностью и невоспроизводимостью. К этому добавлялась фундаментальная физико-математическая образованность и мастерство изложения. В результате обзор Бронштейна стал событием истории ОТО в нашей стране. Впечатление, произведенное обзором, хорошо помнят даже физики, далекие от космологии.

Статья в соответствии с названием «Современное состояние релятивистской космологии» давала исчерпывающее описание тогдашней ситуации (в статье, законченной в 1930 г., из 25 цитированных работ девять относятся к 1930 г.).

Во введении ярким языком и сжато описываются основные астрономические данные, характеризующие звездную и галактическую структуру Вселенной, и подчеркивается, что «астроном-наблюдатель никогда не будет знать ничего о мире как о целом, как бы ни увеличивалась дальнозоркость астрономических инструментов. Поэтому может казаться, что космологическая проблема является неприступной крепостью, завоевание которой не может быть уделом эмпирической науки. Но там, где астроном-наблюдатель пришел в отчаяние от своего бессилия, к решению безнадежной проблемы подходит физик».

Физический подход к космологии открыл создатель общей

теории относительности. Бронштейн ясно понимал необычность проблемы, уникальность физического объекта «мир как целое», или (если пользоваться словом, менее определенным по смыслу, но общепринятым сейчас) «Вселенная». Необычность этого объекта (его уникальность в полном смысле, узость эмпирической базы космологии, безграничность в геометрическом смысле и в смысле задачи матфизики) еще несколько десятилетий мешала полноправному включению космологии в физику. Даже такой специалист в области ОТО, как В. А. Фок, весьма скептически смотрел на законность нового объекта.

Бронштейн в своем обзоре не скрывает необычность космологической проблемы за математическими формулами, а, наоборот, делает все, чтобы раскрыть «механизм» релятивистской космологии. Он дает краткий очерк римановой геометрии, достаточный для того, чтобы избавить читателя от мистического трепета перед сложностью ОТО и грандиозностью космологической задачи. И рассматривает три модели вселенной, существовавшие тогда: статическую (цилиндрическую) модель Эйнштейна, модель де Ситтера и вышедшую на первый план нестатическую модель Фридмана—Леметра.

Имя А. А. Фридмана уже появлялось на страницах нашей книги. Бронштейн пришел в Главную геофизическую обсерваторию в 1929 г., когда там, можно сказать, еще блуждала тень Фридмана (директора ГГО в последние годы своей жизни), и мог слышать о нем от его ближайших сотрудников. И в своем обзоре Бронштейн воздает должное «покойному русскому математику», который ввел нестатическую космо-логическую модель еще в работе 1922 г., «наполовину забытой»[23].

Бронштейн излагает и критически обсуждает свойства всех трех космологических моделей вместе с имевшимися тогда привязками к астрономическим данным. Он четко и ясно объясняет понятие «радиуса мира», которое тогда казалось особенно диковинным. Объясняет и на языке формул, и на языке здравого смысла: «если радиус мира очень велик, то цилиндрическая форма мира [Эйнштейна] так же мало сказывается на явлениях, происходящих в сравнительно небольших участках этого мира, как шарообразная форма Земли сказывается на явлениях, происходящих в пределах одной комнаты» (в статье рассматриваются только замкнутые модели, казавшиеся тогда предпочтительными, хотя имеется ссылка и на работу Фридмана 1924 г., посвященную случаю отрицательной кривизны — открытой модели).

Наглядным языком поясняются удивительные свойства релятивистских геометрий, выраженные в виде интегралов и

уравнений. Вот, например, понятие горизонта: «письма, адресованные в пункт, отстоящий на расстояние R π/2 от ближайшей почтовой конторы, в мире де Ситтера никогда не доходят до места назначения, даже если почта передает их со скоростью света».

Релятивистская космология, несмотря на свою молодость, уже успела пережить несколько весьма драматических дискуссий. И Бронштейн не искал округлых формулирок для заблуждений именитых коллег, когда, например, писал о попытках Вейля и Эддингтона « различными правдами и неправдами» объяснить эмпирическое преобладание красного смещения в спектрах галактик с помощью решения де Ситтера. Или когда писал о неправильной формуле в американской статье де Ситтера и о правильной — в голландском ее варианте.

Заканчивают обзор проницательные и вполне оправдавшиеся слова: «Космологическая теория безусловно подвергнется еще многим изменениям. Прежде всего ей придется расширить свои сроки, которые все же чрезвычайно стеснительны для космогонистов».

Как мог недавний выпускник университета подготовить такой обстоятельный обзор (60 страниц), активно занимаясь и совсем другими областями физики? Конечно, называть Бронштейна в 1930 г. лишь выпускником университета можно только по формальным признакам: и высшее, в полном смысле слова, образование, и научную самостоятельность, и профессионализм он получал независимо от заполнения зачетки.

Бронштейн не мог бы написать столь квалифицированный обзор по космологическим приложениям ОТО, если бы не знал — энциклопедически — ситуацию в ОТО в целом. Поэтому не удивительно, что он тогда же написал о теории относительности энциклопедическую статью (вместе с В. К. Фредериксом[24]).

Энциклопедия, в которой появилась статья, называлась «технической», хотя точнее ее было бы назвать научно-технической. Издание это было весьма характерным для эпохи (с ее культом техники и знаний), но довольно странным на нынешний взгляд. Достаточно сказать, что статья «Относительности теория» помещена между статьями «Отмучивание (глин)» и «Отопление», а том начинается «Оливковым деревом» и кончается «Патентным правом». Однако, несмотря на такое тематическое разнообразие «Технической энциклопедии», статья по теории относительности (как, впрочем, и другие физические статьи) написана на высоком уровне. Основные ее разделы, посвященные СТО, ОТО, космологии и единой теории поля, принадлежат Бронштейну и Фредериксу, об

астрономическ проверках ОТО написал В. Г. Фесенков, а раздел «Теория относительности и философия» — А. К. Тимирязев.

Последние два раздела выразительно характеризуют тогдашнее «общественное» положение теории относительности. Фесенков (весьма авторитетная фигура в советской астрономии, член-корреспондент АН СССР с 1927 г., академик с 1935 г.) заключает свой раздел осторожными словами: «О. т. в настоящее время не может быть проверена совершенно несомненным образом при помощи астрономических наблюдений. Тем не менее ни одно из известных явлений ей не противоречит». А Тимирязев, считая (вместе с И. Е. Орловым, З. А. Цейтлиным и другими) «основные положения теории относительности несовместимыми с материалистической диалектикой», пытался (гораздо сдержаннее, чем в своих неэнциклопедических статьях) продемонстрировать идеалистический характер теории относительности, в противовес тем, кто полагал, что она « является реализацией в конкретной форме учения диалектического материализма о пространстве и времени» (к таким Тимирязев относит Б. М. Гессена, С. Ю. Семковского, О. Ю. Шмидта).

Что касается физических разделов этой статьи, то следует думать, что своими достоинствами они в первую очередь обязаны именно Бронштейну. Дело в том, что Фредерикс смотрел на ОТО немножко снизу вверх. Получив образование в дорелятивистскую эру, он находился под сильным влиянием не только самих релятивистских идей, но и методологических предубеждений их создателей. Например, в его обзоре 1921 г. [283] можно почувствовать и конвенционализм Пуанкаре, и эйнштейновское пристрастие к принципу Маха, и аксиоматизм Гильберта; он некритически и слишком прямолинейно повторяет эйнштейновское убеждение, что полное отсутствие вещества должно приводить к евклидовой геометрии.

Бронштейну, который родился на год позже, чем теория относительности, было легче выработать самостоятельное понимание теории относительности, и он, в частности, в космологическом обзоре специально отмечает, что из отсутствия вещества вовсе не следует плоский характер геометрии. (Самому Эйнштейну до конца жизни хотелось, чтобы отсутствие гравитационного поля, отсутствие вещества означало бы даже отсутствие пространства, хотя это желание не было воплощено в физико-математической форме.) Самостоятельность Бронштейна и глубокое понимание им ситуации видны и в других местах статьи.

Поэтому нетрудно представить себе, что он испытал, увидев свою статью о космологии в УФН снабженной предисловием «От

редакции» и примечаниями с неуместным комментарием философского характера и нелепыми поправками. Принадлежали они, как легко было догадаться, Б. М. Гессену, который (вместе с Э. В. Шпольским) был в то время редактором УФН и активно выступал в защиту теории относительности с позиций диалектического материализма.

3.8. Эфир и теория относительности

Этот редакционный комментарий стал одной из причин довольно громкой истории, получившей у физтеховцев название «Гессениада». Прежде чем рассказать об этой истории, коротко охарактеризуем одного из главных ее участников.

Борис Михайлович Гессен (1893—1936) был заметной фигурой в советской физике: член-корреспондент АН СССР, директор Физического института при МГУ, декан физического факультета МГУ, видный философ и историк науки. Наиболее значительной была его работа «Социально-экономические корни механики Ньютона» [162], с которой он выступил на Международном конгрессе по истории науки в Лондоне в 1931 г. Его доклад, демонстрировавший марксистский подход к истории науки, произвел сильное впечатление [232].

Заслуживают внимания и «социально-экономические» корни самого Гессена, тем более, что о них знал герой нашей книги (от своего товарища С. А. Рейсе-ра, приходившегося Б. М. Гессену двоюродным братом). Б. М. Гессен происходил из богатой семьи, его отец был директором банка в Елизаветграде. Однако это не помешало сыну еще в юности примкнуть к социал-демократам (вместе с ним были его друзья И. Е. Тамм и Б. М. Завадовский, которым предстояло большое будущее в науке). Он участвовал в подпольной работе, а после победы большевиков от их имени конфисковал отцовский банк, его называли «наркомфин елизаветградский».

В Московском университете он начал работать, закончив Институт красной профессуры (готовивший преподавателей высшей школы обществоведческого профиля). Л. И. Мандельштам высоко ценил его заслуги в превращении физического факультета МГУ в современный центр науки и образования [257].

Гессен стремился с марксистских позиций осмыслить достижения новой физики, стараясь найти им подобающее место. Однако он, видимо, переоценивал свои возможности адекватно воспринимать эти достижения, в особенности общую теорию относительности и квантовую механику, слишком полагаясь на философские соображения. И молодые теоретики, не склонные к компромиссам (тогда, кстати, вообще немодным), не прощали ему этого, невзирая на всю его философскую защиту новой физики.

В 1931 г. вышел том БСЭ со статьей «Эфир», написанной Б. М. Гессеном [161]. Бронштейн, который читал все, эту статью обнаружил и выставил своим друзьям на осмеяние. Основания

для смеха у молодых физиков действительно были. Из статьи Гессена они узнали, что «целый ряд попыток объяснить посредством движения и деформаций в эфире также и явления тяготения не дал пока никаких результатов»; что «проблема эфира является одной из самых трудных проблем физики», а «основной методологической ошибкой общей теории относительности является то, что она рассматривает эфир, как абсолютно непрерывную среду»; что «эфир обладает такой же объективной реальностью, как и все другие материальные тела», и, наконец, что «проблема эфира в современной физике еще только поставлена, но отнюдь не решена — даже в общем виде».

Такое можно было читать спокойно до 1905 г., но не в 1931 г. Ситуация усугублялась еще тем, что Гессен был не просто автором, он был одним из двух редакторов отдела физики БСЭ. И именно в редакции БСЭ получили фототелеграмму (незадолго до того появившийся вид почтовой связи):

«Москва, Волхонка, 14, Больш. Сов. Энциклопедия, Отд. Точного Знания, Б. М. Гессену.

Прочитав Ваше изложение 65-м томе, с энтузиазмом приступаем изучению эфира. С нетерпением ждем статей теплороде и флогистоне.

Бронштейн, Гамов, Иваненко, Измайлов, Ландау, Чумбадзе

Ленинград, Сосновка, 2, Физ-тех. институт, Теоретич. кабинет».

На фототелеграмме изображен мусорный ящик, из которого рядом с пустыми консервными банками и старой метлой торчит бутылка с надписью «теплород», а рядом — ночной горшок с надписью «эфир».

Гессен не оставил эту «рецензию» без ответа, и... в Физтехе состоялось собрание, посвященное инциденту. Во время шумного разбирательства никто не защищал содержание статьи Гессена, хотя старшие сотрудники считали, что форму для рецензии молодые теоретики могли выбрать менее хулиганскую. Иоффе не более других физтеховцев был склонен реставрировать понятие эфира, и ситуация для него отнюдь не становилась легче от того, что вместе с Гессеном редактором отдела физики в БСЭ был... он сам. Однако директор ЛФТИ гораздо яснее, чем его молодые сотрудники, понимал, какую важную роль играл Б. М. Гессен, защищавший философскую правомочность новейшей физики от А. К. Тимирязева и его сподвижников.

За фототелеграммой последовали «оргвыводы» — Бронштейн и Ландау на некоторое время (с 29.01. 1932) были отстранены от преподавания в ЛПИ («за антиобщественное выступление по статье тов. Гессена в БСЭ» [102]). В 1931/32 учебном году

Бронштейна пригласили (по инициативе студентов, что было тогда возможно) преподавать и в университет. Студенты успели уже оценить педагогический талант Бронштейна, но в связи с «Гессениадой» он и здесь был отстранен от преподавания. Его заменил Гамов (разочаровавший слушателей, несмотря на свое громкое имя). Основным местом работы Гамова был ФМИ, и он практически не пострадал от истории с фототелеграммой, о которой рассказал (с неточностями) в автобиографии [154].

Чтобы лучше понимать эфирный инцидент, надо знать, как в 20-е годы воспринималось слово «эфир». Читатели, знакомые с тем временем понаслышке, могут думать, что это понятие было убито теорией относительности еще в 1905 г. и сразу же перешло в мир иной — в пыльный архив науки, заняв место рядом с теплородом. Тогда статья Гессена 1931 г. должна казаться совсем уж абсурдной. Однако эфир сильно отличался судьбой от других флюидов, которые он надолго пережил. СТО действительно не давала повода для того, чтобы пытаться сохранять слово «эфир» в словаре физики. Электромагнитное поле исчерпывающим образом заменило его. В геометрии Минковского, описывающей пространство-время СТО, не оставалось никаких степеней свободы, за которые мог бы отвечать эфир.

Однако распространение теории относительности на область гравитационных явлений — создание ОТО — изменило ситуацию. В теории появилось сразу десять новых величин. Можно, конечно, их называть гравитационными потенциалами. Но в ОТО гравитационное поле неразрывно связано с геометрией, и поэтому с тем же (и даже большим) правом можно считать, что новые десять переменных величин описывают состояние пространства-времени. А универсальность такого физического объекта, как пространство-время, легко сопоставить прежней вездесущности эфира.

Когда в 1920 г. сам создатель ОТО вдруг миролюбиво заговорил о взаимоотношении эфира и общей теории относительности, многие вздохнули с облегчением. Трудно преувеличить привязанность к эфиру физиков, не принадлежавших к «подрастающему поколению» (по Планку), начавших самостоятельную работу до появления СТО. Достаточно сказать, что с понятием эфира не хотели расставаться Лоренц и Пуанкаре, внесшие значительный вклад в создание СТО. По-видимому, не случайно, что Эйнштейн «помирился» с эфиром в докладе, сделанном в Лейдене — городе Лоренца. Конечно, это было не просто проявлением добрых чувств Эйнштейна к Лоренцу. Скорее, лейденская аудитория давала хороший повод проанализировать фундаментальные идеи ОТО.

Фактически доклад Эйнштейна ничего не менял в аппарате ОТО, он мог лишь облегчить привыкание тем, кому было трудно представлять пространство-время динамической системой, а не сценой, построенной раз и навсегда. Тем, кто привык к классическим пьесам, допустить столь активную роль сцены в физическом спектакле, какая следовала из ОТО, было труднее, чем примириться с персонажем по имени Эфир, более невидимым и неосязаемым, чем привидение. Для того чтобы эфир стал неощутимым, как раз много потрудился Лоренц, и специальная теория относительности Эйнштейна завершила эти труды.

Самому Эйнштейну эфир как рабочее физическое понятие не был нужен (несмотря на то что его первая попытка написать научную работу посвящена эфиру [304]). Для него понятие пространства-времени заменяло эфир почти полностью. Можно было бы обойтись и без слова «почти», если бы Эйнштейн практически с самого рождения ОТО не думал о ее обобщении (на путях включения квантовых идей и построения единой теории). Неокончательность теории не позволяла канонизировать понятие пространства-времени.

Однако подлинный смысл миролюбия Эйнштейна к эфиру был виден отнюдь не всем и не сразу. Так, например, С. И. Вавилов, реферируя лейденский доклад, писал: «Наиболее знаменательным является "снятие запрета" с гипотезы мирового эфира самим, автором этого "запрета", гипнотизировавшего 15 лет науку и несомненно тормозившего естественное развитие ценной для физики гипотезы» [122]. И это писал активно работавший физик, который в своей замечательной книге 1928 г. «Экспериментальные основания теории относительности», ставшей важной вехой в истории утверждения ОТО, уже констатировал: «демо-критово пустое евклидово пространство и непостижимый эфир заменились сложным, но физически доступным пространством-временем Эйнштейна» [123, с. 13].

Такая замена стала фактом для физиков, воспринимавших «проэфирные» выступления Эйнштейна не только на филологическом уровне и не изолированно от физико-математического содержания других работ по ОТО. К этим физикам Гессен не относился. Судя по его книге [160] и упомянутой статье «Эфир», Гессен вполне адекватно представлял себе суть СТО, но довольно поверхностно — ОТО, и его приверженность эфиру коренилась все же в физике дорелятивистской. Именно этим и была вызвана реакция молодых теоретиков на статью Гессена.

По отношению к Бронштейну во всяком случае нет оснований предполагать, что он был большим релятивистом, чем сам

Эйнштейн, и относился к понятию эфира враждебно из-за его неблагополучного происхождения. Чтобы убедиться в этом, достаточно прочитать его статью 1929 г. «Эфир и его роль в старой и новой физике» (см. приложение к данной книге). С удивительным для молодого физика уважением к истории науки и со знанием дела здесь рассказывается об эволюции понятия эфира. А в конце статьи весьма неожиданный для нынешнего (неподготовленного) читателя вывод о том, что без эфира теоретическая физика не может обойтись.

Не удивится этому тот, что знает, что такого же рода прогнозы делал Эйнштейн в 1924 и 1930 гг. [309, 310], и кто понимает смысл, который вкладывали в слово «эфир» эти прогнозы. Они не оправдались, только если воспринимать их буквально: слово «эфир» несло слишком тяжелый груз ненужных ассоциаций. Но эфир, понимаемый как вездесущая, универсальная физическая среда,— под другими именами,— действительно живет в физике, а в последние годы даже находится в центре ее забот. Другие имена — пространство-время и единое поле — существовали уже в 20-е годы, но только после длительного перерыва они вновь вышли на передний план в теоретической физике. Наследником эфира стал и вакуум, который в современной физике способен нагреваться и участвовать в фазовых переходах. Этому, возможно, порадовались бы приверженцы эфира былых времен, но другие свойства нового эфира, несомненно, очень бы их озадачили, например его способность рождать частицы. А главная проблема, которую предстоит решить в теории этого нового, или даже новейшего, эфира,— объединение ОТО и квантовой теории. Эту проблему поставил и глубоко проанализировал герой нашей книги еще в 1935 г. Но об этом мы будем говорить в главе 5.

3.9. Поколения и стили

В «эфирной истории» участвовали физики разных поколений. Не учитывая взаимоотношений «отцов и детей», невозможно понять общую атмосферу в тогдашней теоретической физике.

Известный музыкант Г. Г. Нейгауз говорил, что таланты создавать нельзя, но можно создавать почву, на которой растут и процветают таланты. Это относится не только к музыке. Директора ЛФТИ недаром называли «папой Иоффе». Во многом благодаря его

«отцовским» заботам ЛФТИ дал начало биографиям многих выдающихся советских физиков. Теоретиков ЛФТИ опекал и заведующий теоротделом Я. И. Френкель. Его заботливое отношение к сотрудникам и ученикам выразительно характеризуют воспоминания о нем [139] и его собственные письма [284]. Не случайно в упоминавшемся уже очерке В. Б. Берестецкого «Семинар», основанном на физтеховских впечатлениях, Я. И. Френкель выведен под именем Добрый.

Доброе отношение испытал на себе и Бронштейн. Уже в ноябре 1930 г. Френкель писал: «Мне везет на ассистентов. ...Аббата я считаю самым талантливым». На съезде в Одессе Яков Ильич «сговорился с Зоммерфельдом о том, чтобы Бронштейн у него поработал некоторое время», а во время пребывания в США (1930—1931) хлопотал о Рокфеллеровской стипендии для него [284] (эта стипендия давала возможность провести год в зарубежных научных центрах; ею смогли воспользоваться сам Френкель, Крутков, Фок, Скобельцын, Ландау, Шубников).

Стремительный рост научно-технического потенциала страны был связан со значительной ролью молодых. Положение в советской науке 30-х годов, как и в обществе в целом, хорошо описывают слова песни, рожденной в те годы: «молодым везде у нас дорога». Этому способствовали и руководители Физтеха. В 1933 г. Иоффе, подводя итоги 15-летней биографии института, к основным принципам его деятельности отнес «привлечение к ответственной творческой работе молодежи (одно время нас называли иронически «детским домом»)» [194].

Со второй половиной песенной формулы — «старикам везде у нас почет» — дело обстояло хуже, особенно если говорить о почете со стороны молодых. Два эти лозунга только в песне соединяются легко, в жизни они зачастую противоречат друг другу. К 40, 50-летним «старикам» молодые теоретики относились без почтения, если им казалось, что взгляды «стариков» отстают от времени. Как бывает с детьми, уже

самостоятельными, но еще недостаточно взрослыми, они недооценивали «папу». Вряд ли они считали, что Иоффе не выполняет отцовских обязанностей, но думали, что правами злоупотребляет. Это, однако, не мешало Иоффе защищать «детей», например, от обвинений в идеализме со стороны деятелей, сочетавших, невежество с пылкими фразами; не уменьшало это и усилий Иоффе по созданию той самой атмосферы, в которой могут развиваться таланты.

Расскажем о нескольких эпизодах, характеризующих как отношения между подрастающим и старшим поколениями, так и общую атмосферу ФТИ. Мы воспользуемся воспоминаниями В. Я. Савельева (письмо В. Я. Френкелю от 5.1.1984 г.) и «репортажами с места событий», которые писала для Жени Канегиссер (уехавшей с мужем в 1931 г. в Цюрих) ее сестра Нина.

В. Я. Савельев, знавший Бронштейна как студент по экзаменам и как аспирант по физтеховским семинарам в 1931—1937 гг., вспоминает:

« По внешнему виду М. П. отличался от Ландау, как Штепсель от Тарапуньки. Во внутреннем содержании сходства тоже было немного: добрый юмор Бронштейна сильно отличался от злого сарказма Ландау. Студентов никогда не преследовал и не издевался над ними. Страшно удивлялся, если студент знает хоть что-нибудь. Всем ставил пятерки. Поэтому пятерка по статистической физике, полученная от него, не очень убедила меня в глубине знаний по этому предмету.

Запечатлелся в моей памяти и его образ "в искусстве". Правда, фрагментарно.

Фрагмент первый. После очередного торжественного заседания — увеселительная часть. В актовом зале Физтеха на сцене стол, за столом Абрам Федорович, на столе два прибора: вольтметр и вольтаметр [прибор для измерения количества электричества по химическому действию тока]. К столу подходит М. П. Бронштейн. Обращаясь к нему, А. Ф. говорит: « Матвей Петрович, всех теоретиков Якова Ильича, и вас в частности, обвиняют в идеализме и полном пренебрежении к практике. Не могли бы вы опровергнуть это утверждение, назвав цели, для которых служат лежащие перед вами приборы?»

Матвей Петрович, не глядя на приборы, немного заикаясь, отвечает: «Все очень просто. Вольтметр — это прибор для измерения вольтов, т. е. напряжения, а вольтаметр, который кроме "вольт" содержит букву "а", может измерять и вольты, и амперы, т. е. мощность».

«Вижу, логика у вас железная, и я не удивлюсь, если вы посрамите всех пасквилянтов. Вот только не смогли бы вы

показать, какой из них вольтметр, а какой — вольтаметр?»

Матвей Петрович размашистым жестом в плоскости над столом со скоростью, превышающей скорость восприятия глаза, «указывает», скорее, только говорит: «Вот вольтметр, вот вольтаметр», не фиксируя руку над приборами и скрывая, таким образом, свое незнание. Улавливая хитрость, А. Ф. прячет вольтметр за спину: «Ну теперь вы меня не обманете. Какой прибор я положил за спину?»

Но и здесь М. П. нашел остроумный и злободневный ответ: «Конечно, от того, что вы положили прибор за спину, он не перестал существовать, однако он перестал быть объектом физического исследования» (всеобщий хохот, так как эта фраза принадлежит профессору Ф. Франку [философ-позитивист и физик, сменивший Эйнштейна на кафедре теоретической физики в Праге]).

Оба актера сыграли отлично и доставили большое удовольствие публике.

Фрагмент второй. Тот же зал. Через эпидиаскоп показывают злободневные рисунки А. Юзефовича. На одном — Яков Ильич, в спортивном виде, т. е. в трусах, с блестящей лысиной и непременными очками, держит в сворке трех щенков с головами Бронштейна, Ландау (коренник) и Иваненко. Краткая подпись под рисунком: "Яков Ильич со своей сворой; к сожалению, в последнее время срываются"».

Рисунок, о котором вспомнил В. Я. Савельев, мог появиться только в конце 31-го или в 32-м году, когда Ландау и Иваненко оба были сотрудниками ЛФТИ. В августе 1932 г. Ландау переехал в Харьков, да и отношения его с Иваненко впоследствии ухудшились настолько, что такой сюжет для рисунка стал бы совершенно невозможен.

Более устойчивым образованием было другое трио. Его участников в Физтехе называли студенческими прозвищами — Джонни, Дау и Аббат. Н. Н. Канегиссер в письмах сестре, описывая бурные события с их участием, употребляла слово «триумвират». А у старшего поколения в ходу было «драй шпицбубен» (три сорванца).

Разумеется, главным занятием троицы была физика. Но молодая энергия перехлестывала за пределы физических рассуждений и формул. "Сорванцы" думали о физике в государственных масштабах, хотели вывести ее на передовые рубежи мировой науки. Для достижения этой цели, кроме педагогических замыслов (впоследствии воплотившихся в теорминимум и «Курс теоретической физики», см. разд. 6.2), были у них и замыслы организационные. Они хотели создать

новый институт, где был бы больший простор для развития «теоретики» (так, по созвучию с математикой, они называли теоретическую физику). И хотели омолодить Академию наук, в которой теоретическая физика была представлена очень слабо — по существу, только Я. И. Френкелем (он был избран в Академию в 1929 г. вместе с двумя другими физтеховцами П. Л. Капицей и Н. Н. Семеновым). В следующем поколении наибольшие шансы были у Гамова, его теория альфа-распада (1928) получила мировое признание.

Приведем несколько выдержек из писем Н. Н. Канегиссер[25], которые дают представление о событиях того времени и о джаз-бандовском диалекте (включая малопочтительные прозвища старших). Гарантировать точность этого описания трудно из-за некоторой аффектации (обычной в подобных случаях), а также из-за того, что автор писем (биолог по образованию) воспринимала происходящее со слов только некоторых действующих лиц. Однако можно думать, что общий характер событий передается все же верно.

«Новость сезона: Jonny — академик. Дау и Аббат пришли к заключению, что теоретика в загоне и что единственное средство поставить ее на должную высоту — это провести Jonny в академики. К счастью, Дау вовремя заболел гриппом и безумствовал исключительно один Аббат. Он отправился к Абрау узнать его мнение об этой кандидатуре. Абрау скромно сказал, что она кажется ему смехотворной. Воображаешь ярость Аббата? Все в ужасе. Дау и Аббат от непонятного упорства, прекрасно зная, что Jonny все равно провалят (и сам Jonny), продолжают настаивать на этом кретинизме. Собираются поднять кампанию в газетах — зубры не допускают молодого и талантливого физика. Пишут письма к Bohr'y и т. п. с просьбой рекомендаций (чтоб их потом напечатать)».

Из следующих писем:

«Оживление кругом водевиля "Jonny — академик" разрастается и уже приобрело международные масштабы: пришел ответ от Капицы (которому писали одновременно с письмами к Bohr'y, просили его рекомендации и Rutherford'a), гласящий: «Я согласен, что Академию пора омолодить. Я согласен, что Jonny вполне подходящая для этого обезьяна, но я не доктор Воронов и не желаю путаться в чужие дела»[26]. Гениально!? Результаты обширной деятельности триумвирата — ссора с Яшей, который обиделся, что его же аспиранты не поддерживают его кандидатуру, разрыв с Абрау и т. п. достижения. Дау и Аббат трудятся, рвутся в большую прессу, а Jonny скромно просится: «Ну пусть хоть корреспондентом». Все достижения, впрочем,

рухнули опять-таки на Дау и Аббата. Joe невинно смотрит и мечтает разгуляться на первое академическое жалование. Кажется, он один из всех не разобрался, что из этого принципиально ничего не может выйти, и расстраивается» (Н. Н. здесь недооценила ситуацию: в 1932 г. Джонни был избран «корреспондентом») .

«Новый putsch — теоретический сектор. Директор — Jonny (те же и они же), члены — Дау, Виктор [Амбарцумян] и Аббат, и аспирант — грузинский юноша из Рентг. , которого они уже успели свести с ума. Триумвират не желает впустить туда ни Яшу, ни Dymus'a. Виктор либеральней. Склока происходит ужаснейшая. Dymus обиделся на Jonny, Jonny на Dymus'a (зачем не голосовал за его кандидатуру в академики. На собрании в Рентг. эту остроумную кандидатуру поддержали только Аббат, Дау и безумный грузин!)»

«На фронте "триумвират — Абрау" несколько забавных анекдотов. Яша называет их "Хамов, Хам и Хамелеон". Здорово? На одном диаматическом заседании, где Яша подчеркивал свой материализм, его упрекнули в идеологии его учеников. Он сказал: "Можете взять себе этих учеников. Они змееныши и сами меня клюют". У клюющего змееныша Аббата вышел полнейший скандал с Абрау из-за лекции, прочитанной Аббатом по радио. Однажды вечером утомленный научными мыслями Абрау в уютной семейной обстановке включает громкоговоритель, и вдруг ему в ухо скрипучий Аббатов голос, ссылаясь на Бора, Дау и Руди [Пайерлса], поносит... закон сохранения энергии[27]. А потом диктор сообщает: "Вы прослушали лекцию такого-то, сотрудника института имени Абрау"! Это переполнило чашу терпения, и несчастный Абрау рвет свои седины. Наутро "призывается Аббат для объяснений". Сей поступок змееныш "склонен рассматривать" как превышение власти (он прав, пожалуй) и после ряда язвительных дерзостей просит его уволить. Кончается все благополучно. Но Аббат уже, по-моему, утомлен всякими этими скандалами и довольно грустен».

Прозвища, которыми Я. И. Френкель наградил своих молодых коллег, могут показаться слишком резкими тому, кто забудет «обстоятельства времени и места». Всем, чьи имена появились на последних страницах, было присуще чувство юмора, постоянная готовность к поединкам, оружие в которых — остроумие. Кроме того, для научных организаций того времени совсем не характерна была устойчивая иерархия с дистанциями, которые поддерживаются писаными и неписаными законами. Бывало, что один и тот же человек мог быть одновременно студентом, аспирантом и, скажем, заведующим кафедрой физики в комвузе

(в коммунистических вузах ускоренно повышали образование руководящие работники, имевшие большой жизненный опыт, но не получившие систематического образования).

А учитывая эти обстоятельства времени и места, надо только установить долю правды, которая, как в каждой шутке, есть в этих прозвищах. О намеке на их общий корень говорить не надо, но следует сказать, что первое прозвище могло быть рождено не только остроумием Я. И. Френкеля, но и поэтическим даром Демьяна Бедного. Одно из его стихотворений на злобу дня, регулярно появлявшихся в «Правде», называлось «До атомов добрались». Ему была предпослана газетная цитата о том, что «24-летний аспирант ленинградского университета Г. А. Гамов сделал открытие, произведшее огромное впечатление в международной физике. Молодой ученый разрешил проблему атомного ядра» (речь шла, разумеется, о работе по альфа-распаду) . А начиналось стихотворение так:

СССР зовут страной убийц и хамов.
Недаром.
Вот пример: советский парень Гамов.

Стихотворение было вложено в уста негодующего буржуя, за исключением последних двух строк: «Подкоп иль не подкоп, а правду говоря, /В науке пахнет тож кануном Октября»[28].

В Физтехе это стихотворение прекрасно знали и ехидничали над интересом пролетарского поэта к ядерной физике. Доставалось и «советскому парню». А в первой рифме ядерно-революционного стихотворения легко увидеть первое прозвище.

Что касается второго, то, как известно, деликатность не была главным достоинством Ландау.

И, наконец, прямо противоположная причина давала повод для третьего прозвища. Бронштейну при всей его внутренней свободе и критичности было не свойственно обижать человека только потому, что тот отличался от него самого. Он не был склонен к оценкам, по-детски однозначным, и, по мнению, например, Ландау, был чрезмерно терпим к инакомыслию.

Бронштейн вряд ли испытывал особые симпатии к научному стилю Я. И. Френкеля, у которого обильно рождающиеся идеи и образы не сразу и не всегда находили точное математизированное воплощение. Для Френкеля был характерен модельный подход к интересовавшим его проблемам. Как правило, он удовлетворялся полуколичественным, с точностью до коэффициентов («с точностью до п/2») решением. Объяснив таким образом занимавший его эффект, он терял к нему интерес и обращался к другой задаче. Бронштейну гораздо ближе было физическое мышление Ландау. Но, в отличие от Ландау, он не

считал, что право на существование имеет только один стиль[29]. И во всяком случае личное его отношение к Я. И. Френкелю нисколько не страдало от различия их вкусов в физике.

Все это вместе взятое и стало, по-видимому, для Френкеля поводом наградить М. П. прозвищем, весьма малоприятным, если к нему относиться всерьез. Но относиться к шутке серьезно можно только до тех пор, пока не установлена доля правды в ней. Для тех, кто знал Бронштейна «в действии» — в дискуссиях и у доски, было совершенно ясно, что доля эта очень мала. Неукротимость его духа и самозабвенное служение истине исключали какие-либо компромиссы, не достойные истины.

Различие в стилях, о котором мы говорим, не объяснить лишь возрастом. Оно коренится глубже, в структуре личности. Простые, «на пальцах», методы Френкеля вызывали ощущение неясности не только у молодых теоретиков. Вот что писал Эренфест своему другу Иоффе в 1924 г.: «Образ мышления Френкеля настолько отличается от моего, что нельзя рассчитывать на плодотворное взаимное влияние: для него "результаты" бесконечно важнее, чем "понимание"; до сих пор из наших бесед почти ничего не вышло. Его укротить мог бы только Паули, поскольку он одновременно и находчив и четко мыслит» [311, с. 178].

Слово «понимание» в этой фразе Эренфеста следует правильно понимать. Новые общие принципы появляются часто на зыбкой почве. Прочный фундамент минимального числа непротиворечивых аксиом подводится под теорию со значительным опозданием. Для острого критического ума Эренфеста такие поиски фундаментальных аксиом, обоснование интуитивно угадываемых закономерностей составляли сущность «понимания». Без такого пояснения Эренфест не мог обходиться. Френкель же полагал, что важнейший критерий правильности новых теорий — успешное разрешение с их помощью старых и выдвижение новых задач. Эти «результаты» были важнее для Френкеля, чем эренфестовское «понимание».

Иоффе стиль Френкеля явно предпочитал «теоретике» молодых, в которой усматривал «талмудизм», оторванность от реальной физики. Ему возражал Эренфест. Он внимательно наблюдал за молодыми теоретиками нашей страны и поддерживал их. Особенно это касается Ландау, который к 32-му году так испортил отношения со старшим поколением, что решил уехать в Харьков. Там зимой 1932/33 г. Эренфест познакомился с ним ближе. Своими соображениями он поделился с Иоффе в письме от 6.1.1933 г. [Там же, с. 262]: «Такой тип физиков-теоретиков, как, например, Френкель, Цернике, Орнштейн... несомненно, очень важен для проведения конкретных

экспериментов. Но очень маловероятно (если не невозможно), что ученые такого типа — сами или через подготовку учеников — смогут дать что-либо значительное или хотя бы интересное для теоретических исследований в физике... С другой стороны, мне представляется несомненным, что такой человек, как Ландау (разреши не принимать во внимание его *хулиганство,* которое я лично открыто осуждаю решительным образом), в равной степени для любой страны представляет собой *абсолютно необходимый* тип физика-теоретика. Можно спокойно признать, что в характере его мышления (так же как в моем) присутствуют типично талмудистские черты (у Эйнштейна они тоже есть). Во всяком случае их намного, намного больше в его (Ландау) разговорах, чем в мышлении... После того как я сначала раз-другой с ним очень крепко поспорил из-за некоторых его неоправданно парадоксальных утверждений, я убедился, что он мыслит не только *четко,* но и очень *наглядно* — особенно в области классической физики».

Молодым теоретикам уже в силу (и по слабости) их молодости было труднее отдавать должное стилю, который они не разделяли. Понимание возможности и плодотворности сосуществования разных стилей приходит обычно с возрастом и жизненным опытом.

А. Б. Мигдал, который начал учиться в аспирантуре у М. П. Бронштейна в 1936 г., пишет: «После него [М. П. Бронштейна] моим руководителем в аспирантуре стал Яков Ильич Френкель. Но Яков Ильич и я работали совсем в разных стилях, к тому же была еще одна причина, мешавшая нашему тесному общению. До сих пор со стыдом вспоминаю, что я и другие молодые люди моего окружения не оценили самобытность и оригинальность мышления этого замечательного физика. Мы все были увлечены стилем Ландау, который требовал количественного решения задач и мало ценил качественные идеи, непрерывно рождавшиеся в голове Якова Ильича. И странное дело — хотя я мало общался с Френкелем как с ученым , восхищаясь в то же время им как личностью, с годами стало обнаруживаться, что он оказал на меня громадное влияние. Постепенно мой стиль работы стал приближаться к его стилю» [238, с. 23].

3.10. Физика полупроводников и ядерная физика

Из того, что до сих пор рассказывалось о научных интересах М. П. Бронштейна, можно понять, что основное внимание он уделял фундаментальным областям физики. Это правда, но не вся. Настоящего исследователя может увлечь любая задача, если только она хороша. По существу, надо говорить об исследовательском инстинкте, для которого важно только то, чтобы задача была достаточно интересна. В фундаментальной физике XX в. ключевая фигура — Эйнштейн, и в его творчестве проявилась универсальность исследователя, который с фундаментальной физики переключается на поведение чаинок и форму речного русла, на изобретение холодильника, самолета и т. д. [288].

Не был исключением и герой нашей книги. Он придумывал, например, электромагнитный способ определения скорости самолета (сохранился доброжелательный отзыв И. В. Курчатова на это изобретение). По-видимому, и его литературная работа восходила к интересной изобретательской задаче: придумать способ рассказать просто, понятно и в то же время правильно о сложных научных проблемах и добытых истинах.

Разумеется, появлялись у М. П. также исследовательские задачи, выдвигаемые развитием физики и его служебными обязанностями. В автобиографии от 23 июня 1935 г. свою деятельность в ЛФТИ он описал тремя предложениями: «За время пребывания в институте написал ряд работ (по теории электронных полупроводников, по космологической проблеме и др.). Одновременно занимался, хотя и немного, преподавательской деятельностью: например, в 1934/35 г. мною прочитан для молодых сотрудников Физико-технического института курс лекций по теории атомного ядра; также преподаю и в университете. Написал также ряд научно-популярных и обзорных работ, в том числе научно-популярную книгу «Строение вещества». ОНТИ, 1935» [103].

Можно быть уверенным, что М. П. писал эти строки, не заботясь о том, как полвека спустя занудливый историк будет восстанавливать структуру его интересов. Конечно, соседство полупроводников и космологии очень впечатляет, но в остальном описание весьма приблизительно характеризует полнокровную научную жизнь Бронштейна. За первые пять физтеховских лет он опубликовал больше двух десятков научных работ и столько же

популярных (в том числе две книжки), написал замечательную книгу для детей «Солнечное вещество». Для студентов и аспирантов читал лекции по электродинамике, квантовой механике, статистической физике, общей теории относительности и т. д.

Наибольшее «общественное» признание в тот период получила его работа по теории полупроводников [193]. Когда в 1934 г. были введены ученые степени, в ФТИ были уверены (и Я. И. Френкель и ученый совет), что именно эта работа станет докторской диссертацией Бронштейна (как мы увидим, он решил иначе). Это было связано и с большим прикладным значением, которое придавалось физике полупроводников.

Исследования по физике полупроводников широко развернулись в ФТИ с начала 30-х годов, и Бронштейн сразу же включился в них [12, 17]. Большую роль в освоении новой области сыграл обзор [13], предназначавшийся в первую очередь для экспериментаторов. Бронштейн с педагогическим мастерством в простой форме изложил основные результаты А. Вильсона и дал количественную теорию проводимости полупроводников, а также термоэлектрических, гальваномагнитных и термомагнитных явлений в них.

Бронштейн работал в области физики полупроводников в самом начале ее бурного развития. Поэтому неудивительно, что его результаты довольно быстро растворились в широком потоке исследований. Однако можно думать, что они сыграли свою роль. Об этом отчасти свидетельствует то, что его статьи упоминаются в обзоре Б. И. Давыдова и И. М. Шмушкевича 1940 г. [299], который долгое время был настольным для специалистов.

К ядерной физике относится немного научных работ Бронштейна. Важнее была его просветительская роль в этой области, в осмыслении лавины новых данных, возникшей в 1932 г. и ставшей началом современной ядерной физики. Надо сказать, что ядерная физика в то время не очень подходила для теоретиков, подобных Бронштейну. Больший простор там был для прагматично настроенных теоретиков, не особенно обремененных заботами о целостной физической картине. До 1932 г. господствовала уверенность, что в область ядерных явлений невозможно проникнуть, не располагая квантово-релятивистской теорией (проблема «внутриядерных» электронов). Но открытие нейтрона и гипотеза нейтрино эту уверенность разрушили. Огромная область требовала исследований.

В конце 1932 г. приказом по ФТИ Бронштейн был включен в специальную группу, которой предстояло развернуть исследования физики атомного ядра. В приказе ядерная физика

называлась «второй центральной проблемой научно-исследовательских работ в ЛФТИ» [132] (первая — физика полупроводников). Начальником группы назначался сам А. Ф. Иоффе, заместителем — И. В. Курчатов, ответственность за работу семинара по ядру возлагалась на Д. Д. Иваненко.

Бронштейн активно участвовал в ядерной жизни ФТИ, был одним из главных докладчиков на ядерном семинаре. Как теоретик, он был прикреплен к отделу ядерной физики и читал для сотрудников ФТИ лекции по теории ядра. Сохранился отзыв его как оппонента на диссертацию Л. А. Арцимовича «Поглощение медленных нейтронов» [286]. О физике ядра он писал в энциклопедии, в популярных статьях и книгах.

Важным событием в советской ядерной физике была первая Всесоюзная ядерная конференция. Решение о ее проведении было принято в конце 1932 г., оргкомитет возглавил завотделом ядерной физики ЛФТИ И. В. Курчатов [287].

Конференция проходила 24—30 сентября 1933 г. Предыдущий год стал для ядерной физики годом чудес, главными из которых были открытия нейтрона и позитрона. Экспериментальные открытия выдвинули несколько жгучих вопросов: природа позитрона, природа космических лучей (в которых был обнаружен позитрон), строение ядра, физика бета-распада и аномального рассеяния гамма-лучей и т. д. На конференции предстояло обсудить сенсационные экспериментальные новости и трудные теоретические проблемы.

Ситуация в тогдашней физике была весьма драматичной. Открытие позитрона триумфально подтвердило дираковскую теорию и сделало Дирака главным героем конференции, однако предполагаемая его теорией бесконечная (но незаметная!) плотность заряда и энергии электронов, находящихся на отрицательных уровнях, была нелегким испытанием для теоретиков (на конференции об этом в особенно сильных выражениях говорил Фок). Нейтрон-протонная модель ядра и элементарность нейтрона отнюдь не стали общепризнанными. Более того, появились сильные сомнения в элементарности протона (к этому склонялись, например, Дирак и Жолио). Эти сомнения порождались сразу несколькими причинами: имелись данные, что масса протона больше массы нейтрона; появились первые наблюдения позитронной радиоактивности, т. е. распада протона на нейтрон и позитрон; и, самое главное, измеренный магнитный момент протона оказался намного больше, чем следовало из уравнения Дирака (в предположений элементарности протона).

Освоению горячего материала, накопившегося за считанные

месяцы, способствовало издание сборника трудов конференции «Атомное ядро», подготовленного редколлегией, в которую входил и Бронштейн (секретарь конференции). Он же подготовил разного уровня обзоры конференции [19, 77]. Написанные всего через несколько дней после окончания конференции, эмоционально и со свойственным автору мастерством, они вовлекали в работу конференции многих заочных участников[30]. Обзор в «Сорене» [77] делал такое участие даже немного очным с помощью выразительных портретных зарисовок участников конференции (художник Н. А. Мамонтов). В этих обзорах излагались важнейшие, еще не опубликованные экспериментальные и теоретические результаты. В частности, рассказывалась еще не вполне законченная работа Дирака и Пайерлса о «деформированном, или "поляризованном" распределении электронов с отрицательной энергией$_{19}$» — о поляризации вакуума, в современных терминах[31].

На конференции Бронштейн был, однако, не только слушателем. 27 сентября состоялись доклады Дирака «О теории позитрона», Г. Бека «Теория непрерывных бета-спектров», В. Вайскопфа «Новая теория Бора и Розенфельда» и Бронштейна «Космологические проблемы».

Доклад Бронштейна только на первый взгляд совершенно не связан с другими. В предварительной программе конференции, составленной в декабре 1932 г., был предусмотрен пункт «Теория структуры ядра и вопросы релятивистской квантовой механики», а в качестве одного из докладчиков по этому пункту указан Бронштейн [132]. В 1933 г. у Бронштейна были опубликованы три работы на космологическую тему, и по ним можно составить представление о содержании его доклада. Эти публикации имели прямое отношение к проблеме релятивистской квантовой теории, так же как и другие доклады, прочитанные 27.9.1933 г. В статье Бронштейна [16] была сделана попытка приложить к космологии гипотезу Бора о нарушении закона сохранения энергии в квантово-релятивистской физике (к которой в донейтронную эру относили бета-распад). На эту же тему была (совместная с Ландау) статья [22]. А в статье [21] обсуждалось положение космологической проблемы в структуре полной физической теории. Говорить об этих работах, однако, уместнее будет в следующих главах. В рамках историко-научного повествования трудно рассказывать с хронологической последовательностью о такой полифонической жизни, какой жил наш герой.

Следующей конференцией, на которой обсуждались вопросы ядерной физики, стала конференция по теоретической физике в Харькове 20—22 мая 1934 г. На конференцию приехал Бор в

сопровождении Л. Розенфельда (в газете «Харьковский рабочий» 20 мая была помещена фотография сидящих за столом Ландау, Бора, Розенфельда и Бронштейна). Подробный отчет об этой конференции, помещенный в журнале УФН [26], написал Матвей Петрович. В его собственном докладе делалась попытка увязать с ядерной физикой проблемы астрофизики — происхождение космических лучей и взрывы сверхновых. Попытка эта не оставила следа — слишком незрелыми были эти области.

Бронштейн участвовал и в организации второй ядерной конференции. Фактически она состоялась в 1937 г., но намечалась на сентябрь 1935 г. В архиве Дирака сохранилось письмо Бронштейна от 21 апреля 1935 г. с приглашением приехать. В этом же письме Бронштейн сообщает, что второе издание книги Дирака (которую он переводил вместе с Иваненко) находится в печати и «будет опубликовано очень скоро — в течение двух или трех месяцев». Фактически книга вышла в 1937 г. Обстоятельства, с которыми была связана такая задержка, видны из письма Бронштейна Фоку от 11 апреля 1937 г.: «Сегодня я подписал к печати сигнальный экземпляр перевода Дирака. К сожалению, теперь настолько тяжелое время, что мне не удалось выиграть борьбу, которую я вел из-за этой книги с издательской сволочью. Во-первых, они добились того, что имя Димуса снято с титульного листа (для симметрии я снял и свое имя как переводчика и значусь только как редактор, на что я имею право, так как я поправил весь <...> димусов текст); во-вторых, они поместили непристойное предисловие в стиле троцкиста Шейна, где объясняется, что Дирак — мерзавец» [99][32].

Ядерной физике была посвящена последняя, по воле судьбы, статья Бронштейна. Она содержала расчеты влияния магнитного момента нейтрона на взаимодействие с веществом, в котором он движется. Эти расчеты, как отметил автор, были выполнены по просьбе И. В. Курчатова в связи с намеченными экспериментами в пединституте им. Покровского (где Курчатов заведовал кафедрой и развернул исследования). Статья Бронштейна несла, видимо, и педагогический заряд. Создается впечатление, что она имела цель научить экспериментаторов пользоваться общими методами квантовой механики для решения конкретных задач. По свидетельству сотрудников Курчатова, Матвей Петрович часто выступал в Пединституте с лекциями по современной физике.

В письме В. А. Фоку в апреле 1937 г. Бронштейн сообщал, что работает над подробной статьей для ЖЭТФа об аномальном рассеянии электронов ядрами (предварительная заметка — [32]); аномальность здесь связана с бета-взаимодействием. По-видимому, эту работу имели в виду Л. И. Мандельштам, С. И.

Вавилов и И. Е. Тамм, когда в научной характеристике Бронштейна 1938 г. наряду с его результатами в теории полупроводников и в квантовании гравитации отметили: «В ряде работ по физике атомного ядра М. П. Бронштейн показал, в каких явлениях должен проявляться обменный характер ядерных сил».

Научная и просветительская деятельность М. П. Бронштейна внесла свой вклад в стремительное развитие ядерной физики в нашей стране, когда этого потребовали обстоятельства.

Глава 4. О трудных временах для законов сохранения и о трудной профессии физика-теоретика

Если читатель захочет по статьям Бронштейна не только узнать о развитии физики в 30-е годы, но и понять позицию автора, то особенно сильное недоумение вызовет, вероятно, популярная статья 1935 г. «Сохраняется ли энергия?». Удивит и сам этот вопрос — ведь сейчас закон сохранения энергии совершенно незыблем. Удивят и аргументы, сопровождаемые настоящей агитацией против всеобщей применимости закона сохранения энергии. Помимо физических соображений — экспериментальных и теоретических, автор стремится подорвать авторитет этого закона весьма нефизическими доводами, в частности уподобляя его тому, «прекраснее чего буржуа не может себе представить,— аккуратной бухгалтерской книге, в которой баланс подведен с точностью до последней копейки». А в вечном двигателе, использующем несохранение энергии в квантово-релятивистской области, предлагает видеть потенциальную основу для техники коммунистического будущего.

Читатель, успевший проникнуться симпатией к нашему герою, после его статьи о несохранении энергии испытает, наверно, чувство неловкости. С этим чувством можно справиться, только разобравшись в сути событий, которые сделали возможным появление указанной статьи. Внимательное рассмотрение этих событий поможет нам, кроме того, лучше понять научную обстановку 30-х годов и особенности физического мировоззрения М. П. Бронштейна.

О том, что закон сохранения был в 30-е годы уязвим, пишут нечасто и, главное, очень кратко. А одной фразой никак не объяснить, почему многие выдающиеся физики ставили тогда под сомнение всеобщность великого закона. Среди этих физиков были Ландау, Гамов, Пайерлс, Дирак; из старшего поколения — Эренфест. А автором гипотезы несохранения был один из величайших физиков XX в.— Нильс Бор.

В 20—30-е годы закон сохранения энергии испытал целых три потрясения. И ко всем трем попыткам пошатнуть великий закон имел отношение Бор, к первым двум — самое прямое.

В многочисленных работах, посвященных творчеству Бора, рассматриваются его глубокие идеи, ставшие фундаментальными для современной науки. И это, конечно, вполне понятное

следствие огромной роли, которую сыграл Бор в физике XX в.

Однако хорошо известно, что не ошибается только тот, кто ничего не делает. В этой главе мы рассмотрим судьбу главной ошибочной идеи Бора — гипотезы о нарушении ЗС в субатомной физике. Поверхностному взгляду, брошенному в прошлое с высоты современных знаний, эта гипотеза может показаться не только ошибочной, но даже легковесной. Однако, чем навешивать ярлыки и ставить оценки, гораздо интереснее осмыслить обстоятельства, сделавшие возможным появление идеи, которая позже была сочтена явным заблуждением. Состояние науки и методология ученого иногда характеризуются заблуждениями не менее выразительно, чем достижениями. Гипотезу Бора никак нельзя назвать случайной, она привлекала его внимание долгое время — с 1922 по 1936 г. И важно понять причины долгой жизни столь нежизнеспособной, казалось бы, идеи.

4.1. Три попытки пошатнуть закон сохранения энергии

Впервые идею ограниченной применимости ЗС[33] в субатомной физике Бор опубликовал в статье 1923 г. [113] (законченной в ноябре 1922 г.). Почвой, на которой возникли сомнения в ЗС, были размышления о несовместимости волнового описания света и представлений о квантах света (введенных Эйнштейном в 1905 г. и позже названных фотонами). В то время главным инструментом Бора был принцип соответствия, и он не видел никакой возможности в духе этого принципа совместить волновую теорию и кванты света. Поэтому идею квантов света Бор считал неприемлемой. Но эйнштейновская «эвристическая точка зрения» на свет как на поток квантов, столь успешно объяснявшая фотоэффект, опиралась на ЗС. И вполне естественно, что антипатия к квантам света привела к сомнениям в абсолютности ЗС. Подобные сомнения, надо сказать, посещали и других [202, с. 133], но только смелость Бора и его авторитет позволили сделать эти сомнения достоянием сообщества физиков.

Бор яснее других видел пропасть, зиявшую между квантовым дискретным и классическим непрерывным описаниями, и, для того чтобы построить мост теории через эту пропасть, он даже отступление от ЗС считал не слишком большой ценой [241, с. 290]. По опыту создания теории атома он знал, что иногда достигнуть цель нельзя, двигаясь только малыми шагами. Такому физику-мыслителю, как Бор, было труднее, чем другим, мириться с отсутствием (выражаясь словами Эйнштейна) внутреннего совершенства физической картины, и меньший вес имело внешнее оправдание, каким располагала идея квантов света к 1922 г.

Внешнее оправдание стало еще большим после открытия в 1923 г. эффекта Комптона и его фотонного объяснения на основе законов сохранения энергии и импульса. Поскольку, однако, это объяснение не уменьшило разрыва между корпускулярным и волновым описаниями, Бор продолжал бороться с квантами света. И в 1924 г. он вместе с Крамерсом и Слетером предложил подход к описанию эффекта Комптона, обходящийся без понятия световых квантов и предполагающий соблюдение ЗС только в статистическом смысле [120]. Эта опасность для ЗС длилась, однако, недолго: в 1925 г. эксперимент (Комптона—Саймона и Боте—Гейгера) ясно высказался за фотонное описание и против

описания Бора—Крамерса—Слетера.

Так закончился первый натиск на ЗС. Для Бора, впрочем, он завершился не столько экспериментальным подтверждением ЗС в субатомной физике, сколько созданием последовательного аппарата квантовой механики, увенчанного в 1927 г. принципом неопределенности и принципом дополнительности,— был построен долгожданный теоретический мост, связывающий корпускулярное и волновое описания уже не только света, но и вещества.

Второй натиск на ЗС породили проблемы ядерной физики. Если первый натиск начинался с теоретической неудовлетворенности и кончился приговором эксперимента, то второй начался с неудовлетворительной экспериментальной ситуации и завершился построением теории (впрочем, мы еще увидим, насколько теоретическое было сплавлено с экспериментальным). Прежде всего — хронологическая канва событий.

Начало положили эксперименты Эллиса—Вустера 1927 г. Они установили, что электроны, вылетающие при р-распаде ядер, распределены по энергиям непрерывно. И хотя начальное и конечное состояния ядра обладают вполне определенными энергиями, их разность больше средней энергии р-электронов. Было установлено, и что р-распад не сопровождается у-излучением, которое могло бы восстанавливать баланс энергии в каждом отдельном акте р-распада. Это дало Бору основание предположить, что в ядерной физике ЗС может нарушаться. Самые ранние свидетельства его гипотезы — рукопись заметки, которую в июле 1929 г. он послал Паул$_2$и на отзыв, и соответствующие их письма [247, с. 4][34] (публично эту гипотезу Бор высказал только в октябре 1931 г. [116]).

Паули не счел предположение Бора основательным и в противовес выдвинул собственную гипотезу. В декабре 1930 г. в письме «собранию радиоактивных дам и господ», собравшихся в Тюбингене, «имея в виду "неправильную" статистику ядер N и Li^6»[35], а также непрерывный спектр р-распада, Паули «предпринял отчаянную попытку спасти теорему статистики и закон сохранения энергии» [252, с. 390]. Он предположил, что в ядрах существуют нейтральные частицы спина 1/2, которые при р-распаде вылетают из ядер вместе с электронами и, обладая большой проникающей способностью, уносят с собой «несохраняющуюся» часть энергии. Присутствие таких частиц в ядре могло предотвратить и азотную катастрофу. Вскоре Паули, однако, понял, что одной нейтральной частицей обе эти проблемы решить нельзя. И в июне 1931 г. он впервые публично

(но лишь устно) сообщил о своем плане спасения ЗС с помощью нейтральных, весьма проникающих частиц, сопровождающих β-распад [Там же, с. 393].

В октябре 1931 г. на международной конференции по ядерной физике в Риме противостоящие гипотезы встретились. Хотя Паули нашел там важного союзника — Ферми (которому новая частица — нейтрино — стала обязана своим именем и теорией), большинство участников конференции склонялись к точке зрения Бора, впервые опубликованной именно в Трудах Римской конференции. Реферируя этот сборник, Бронштейн писал: «Согласно взглядам Бора, которые теперь уже, кажется, стали почти общепринятыми среди теоретиков, законы сохранения энергии и количества движения, представляющие одну из наиболее характерных черт современной физической теории, должны перестать соблюдаться в области релятивистской теории квант» [68] (при чем здесь «релятивистская теория квант», мы увидим в следующем разделе).

Паули же не решался публиковать свою нейтринную гипотезу вплоть до Сольвеевского конгресса в октябре 1933 г. Там было сообщено о резкой верхней границе β-спектра, согласующейся с ЗС, а две экспериментально открытые новые частицы — нейтрон и позитрон — жили в физике уже на полных правах. После этого конгресса и в особенности после построенной Ферми вскоре, в самом конце 1933 г., теории β-распада число физиков, сомневающихся в ЗС, стало уменьшаться и обратилось в нуль в 1936 г. после драматического, но длившегося всего несколько месяцев кризиса, связанного с опытами Шэнкланда.

Эти опыты, изучавшие комптоновское рассеяние в области высоких энергий, противоречили фотонной теории и законам сохранения. Сильное волнение, вызванное результатами Шэнкланда, и вспыхнувшие вновь дискуссии о применимости ЗС в микромире, кажутся сейчас объяснимыми только верой в сказочный закон, согласно которому третья попытка всегда успешна. Опыты Шэнкланда были очень скоро опровергнуты и забыты. Тогда же исчезли сомнения в ЗС.

Точку в этой истории Бор поставил в заметке, которая сопровождала публикацию экспериментов, опровергающих Шэнкланда: «основания для серьезных сомнений в строгой справедливости законов сохранения при испускании β-лучей атомным ядром сейчас в основном устранены» [119]. В словах «серьезных» и «в основном» можно усмотреть горечь по поводу разрыва родительских уз, связывающих Бора с гипотезой несохранения. Описывая историю нейтрино в 1957 г., Паули не без некоторого недоумения отметил: «Впрочем, справедливость

закона сохранения энергии при р-распаде и существование нейтрино он [Бор] признал полностью лишь в 1936 г., когда уже была успешно развита теория Ферми» [Там же, с. 394].

А теперь рассмотрим внимательнее ход интересующих нас событий и попытаемся понять мотивы их участников.

4.2. Гипотеза несохранения и мотивы ее сторонников

а) В ожидании релятивистской теории квант. Первые сомнения Бора в ЗС, порожденные его антипатией к эйнштейновским квантам света, нашли мало сочувствия не только за пределами его группы, но и среди его сотрудников. Не разделял эти сомнения даже Слетер, на основе идеи которого (о виртуальном поле излучения) и в соавторстве с которым Бор в 1924 г. попытался реализовать «закон несохранения энергии» [202, с.138]. При этом следует сказать, что сомнения в идее световых квантов были довольно широко распространены, и не только среди физиков старшего поколения. Например, Ландау в 1927 г., рассматривая квантование электромагнитного излучения, сказал: «Введение световых квантов, однако, произвольно и не является необходимым» [213, с. 21] (в то же время Бронштейн, как видно по его первым работам, был на фотонных позициях). Квантовый парадокс (как называли тогда проблему совмещения дискретного и непрерывного описаний) скорее вдохновлял теоретиков, находящихся на подъеме. Сама сила парадокса предвещала такое его разрешение в теории, которое могло превзойти разрешение эфирных парадоксов теорией относительности. Но отказ от ЗС при отсутствии нового принципа, способного заменить его, для большинства теоретиков не имел тогда серьезных оснований.

В 1929 г., когда Бор вернулся к своей идее, ситуация существенно изменилась. В рамки ЗС не укладывался экспериментальный факт (непрерывность Р-спектра). И, что еще важнее, теория благословляла принципиально новое поведение Природы в соответствующей области, поведение, не обязанное подчиняться построенной и успешно действовавшей квантовой механике. Благословение это предшествовало надежному установлению экспериментального факта и от того становилось еще более убедительным. Ведь до открытия нейтрона (1932) считалось несомненным, что в состав ядра входят электроны: об этом «непосредственно» свидетельствовали сами Р-лучи. А появившийся в 1927 г. принцип неопределенности сделал ясным, что к внутриядерным электронам неприменима нерелятивистская теория, какой была квантовая механика: подставив размер ядра и массу электрона в соотношение $\Delta x \Delta p \sim h$, получим релятивистские скорости внутриядерных электронов, что выводит соответствующие явления в область релятивизма.

Для понимания сторонников боровской гипотезы важно учитывать общее состояние фундаментальной физики на рубеже 20—30-х годов. Это было время ожидания «релятивистской теории квант» — теории, в которой действовали бы наравне две мировые константы *c* и h. Дираковское уравнение для электрона (1928) считалось, конечно, выдающимся результатом, но неполноценным из-за отрицательных состояний. Кроме того, от подлинной ch-теории ожидалось гораздо большее, чем давало уравнение Дирака. Синтез релятивистских и квантовых идей в ch-теории казался чуть ли не последним важным событием в теоретической физике. Все ожидали, что ch-теория объяснит численное значение постоянной тонкой структуры $a = e^2/ch$ и — тем самым — атомизм заряда [81, с. 205]. Только немногие осознавали, что за построением ch-теории должно еще последовать построение cGh-теории и (на ее основе) космологии [21, 250], для большинства же слабость гравитационного взаимодействия и его неучастие в атомной физике было достаточной причиной, чтобы оставлять *G* вне поля зрения.

С конца 20-х годов физики, не успевшие еще вполне привыкнуть к радикальным переменам, связанным с квантовой механикой, были вместе с тем уверены, что грядущая ch-теория принесет с собой еще более глубокую перестройку [252, с. 72]. Эта уверенность питалась несколькими причинами.

Во-первых, тогда еще не выдохлась программа единой теории поля [128]. Хотя к эйнштейновскому идеалу такой теории относились в основном скептически, единое представление релятивизма, квантов, гравитации и электромагнетизма казалось возможным в обозримом будущем. А такая возможность — даже при малой ее вероятности — окрыляла теоретическую мысль.

Другим источником теоретического радикализма были глубокие трудности, не устранимые тогдашними средствами, прежде всего — бесконечности теории поля.

И, наконец, третий, пожалуй, самый важный источник нонконсерватизма: на рубеже 20—30-х годов обнаружились ограничения понятийного аппарата, рожденные совместным учетом релятивизма и «квантизма» (индивидуальные неопределенности, бессмысленность понятия «поле в точке» и т. д. [158, 163]). К этому добавлялись и «фундаментальные дефекты» первой квантово-релятивистской теории — теории Дирака (дефекты эти превратились в триумф только после открытия позитрона в 1932 г.).

Замечательные реальные достижения квантовой механики внушали теоретикам уверенность, что физика находится на правильном пути, но перечисленные обстоятельства убеждали их

в том, что до конца пути еще далеко. В настроении теоретиков на рубеже 20—30-х годов действовала инерция революционности, оставшейся от эпохи создания теории относительности и квантовой механики. Физики успели привыкнуть к темпу понятийной перестройки предыдущих десятилетий. Поэтому, например, в то время смогла появиться такая радикальная идея, как квантование пространства-времени. Поэтому и радикальность гипотезы несохранения по тем временам воспринималась не так уж остро.

б) Нейтринная альтернатива. В революционном настрое теоретиков кроется причина преобладавшего вначале отрицательного отношения к нейтринной гипотезе Паули. Эта гипотеза казалась слишком простым решением ядерной проблемы, слишком дешевым.

Легко понять, почему нейтринная гипотеза могла казаться непривлекательной в самом начале 30-х годов. Ведь тогда было хорошо известно, что вещество (или материя, как тогда чаще выражались) построено всего из двух элементарных частиц — электрона и протона, существование которых надежно установлено и проявляется в огромном количестве фактов. Обе частицы имеют электрический заряд. Незаряженный фотон не стоял тогда в одном ряду с этими материальными частицами не только в силу его молодости и традиционного противопоставления света и материи, но и по причине, физически более существенной,— свет характеризовал только взаимодействие и не выполнял функций строительного материала. Добавление к двум элементарным частицам материи еще одной, не обладающей электрическим зарядом и почти не обладающей массой (короче, неуловимой частицы), казалось пресловутым умножением сущностей, искусственной гипотезой для спасения старого закона природы, нуждающегося в замене. Не случайно Паули целых три года воздерживался от публикации своей идеи и обсуждал ее только устно. Осенью 1933 г., накануне перелома в физическом общественном мнении, Бронштейн писал [77]: «Однако до последнего времени допущение "нейтрино" казалось признаком столь дурного вкуса, что теоретики, почти не колеблясь, принимали альтернативу, предложенную Бором», т. е. гипотезу несохранения энергии (ГН).

Только широкое видение науки позволяло говорить тогда об исторически изменяемом числе элементарных сущностей, из которых построена материя. Как писал Бронштейн в 1930 г.: «Мир оказался еще более простым, чем думали древние греки, по мнению которых все тела природы состояли из четырех элементов — земли, воды, воздуха и огня. Протоны и электроны в

настоящее время считаются (надолго ли?) последними элементами, образующими материальные тела» [63, с. 58]. В 1930 г. вряд ли кто из физиков мог поверить, что так ненадолго.

До экспериментального открытия в 1932 г. сразу двух новых частиц (одна из которых к тому же электрически не заряжена) наиболее общие методологические установки тогдашней физики были против нейтрино. За нее мог быть только теоретический эмпиризм, если можно так выразиться,— конкретные, проблемы и факты ядерной физики: азотная катастрофа, верхняя граница Р-спектра и т. п. Спасение ЗС также не выглядело целью самого высокого теоретического уровня. Ведь, несмотря на все значения этого закона для физики и его философское звучание, с точки зрения развитой динамической теории ЗС лишь ее следствие, один из интегралов уравнений движения.

С 1932 года — «года чудес» для ядерной физики — на нейтринную чашу весов добавляются, а с противоположной убираются все новые гири. Открытие нейтрона привело (хотя не так легко и быстро, как может показаться на первый взгляд) к тому, что внутриядерных электронов попросту не стало; утверждалось представление о том, что Р-электроны рождаются. В результате начала слабеть важнейшая теоретическая опора ГН — обнаружилось, что проблемы построения полной ch-теории и теории ядерных явлений в большой степени независимы и что есть существенная область ядерной физики, в которой можно опираться па построенную и успешно действующую нерелятивистскую квантовую механику. И все же в проекте программы Ленинградской ядерной конференции, составленном в декабре 1932 г., был объединенный пункт — «теория структуры ядра и вопросы релятивистской квантовой механики» [287]. И на самой конференции (сентябрь 1933 г.) нейтрино оказалось не в центре дискуссий: в пространном отчете о конференции, написанном одним из самых активных ее советских участников — Иваненко, о нейтрино нет ни слова [188].

Переломным моментом стал конец 1933 г. В октябре на Сольвеевском конгрессе было сообщено о новых экспериментальных данных по верхней границе Р-спектра, и нейтринная гипотеза стала привлекать большее внимание. Паули, наконец, решился ее опубликовать, а Бор формулировал свою позицию уже в более осторожных выражениях. В самом конце 1933 г. Ферми на основе нейтринной гипотезы построил теорию Р-распада и получил важное следствие из нее — форму Р-спектра, из сравнения которой с экспериментом следовало, что масса нейтрино близка к нулю или равна ему.

Однако теория Ферми стала решающим доводом в пользу

нейтрино и соответственно против ГН не для всех. Главная причина состояла в том, что эта теория была аргументом не такого методологического уровня, как соображения в пользу ГН. Теория Ферми не привлекала новых принципиальных идей и очень мало походила на ожидаемую теорию «следующего поколения» после квантовой механики и тогдашней квантовой электродинамики. Все ее совершенство сводилось к внешнему оправданию, а подлинно глубокие проблемы, как тогда считалось, в ней просто удалось запрятать в новую физическую константу, характеризующую Р-взаимодействие и лишь ожидающую сведения к фундаментальным физическим постоянным [148].

б) Несохранение энергии, ОТО, космология и астрофизика. Для тех, кому было недостаточно новых экспериментальных данных и теории Ферми, важным оказалось замечание Ландау о несовместимости ГН и общей теории относительности — аргумент уже вполне фундаментальный. Этот аргумент впервые прозвучал во время теоретических дискуссий в УФТИ в декабре 1932 г. В письме Бору от 31.12.1932 г. Гамов сообщал:

«В начале декабря я был в Харьковском институте, чтобы посмотреть на быстрые протоны, которые они там получили. Эренфест, Ландау и некоторые другие теоретики также были там, поэтому мы организовали маленькую конференцию. Обсуждали многие вопросы и выяснили одну вещь, которая, полагаю, будет особенно интересна Вам. Похоже на то, что несохранение энергии находится в противоречии с гравитационными уравнениями для пустого пространства. Если гравитационные уравнения справедливы для области *B,* то отсюда следует, что полная масса в области *A* (где законы нам неизвестны) должна быть постоянной [на рисунке в письме область *A* изображена малой частью области *B].* Если в области *A* мы имеем, например, ядро RaE и скачком меняем его полную массу в трансмутационном процессе, мы не можем больше пользоваться обычными гравитационными уравнениями в области *B.* Каким образом мы должны изменить эти уравнения, неясно, но замена должна быть сделана. Что Вы думаете об этом?» [247, с. 568]. (Озадаченность Гамова легко понять, если учесть, что боровская гипотеза о несохранении, к которой он относился очень сочувственно, была впервые опубликована в его работе 1930 г. [143]: публикация самого Бора появилась, напомним, в 1932 г.)

Эренфест был в Харькове с 14 декабря 1932 г. до 14 января 1933 г. [285, с. 152]. Этот же месяц провел в Харькове и Бронштейн [103], при обсуждении статьи которого [16] указанные соображения Ландау и появились [31, с. 196]. Статья

Бронштейна прибыла в Харьков (в издаваемый здесь на иностранных языках журнал) на месяц раньше автора. В статье «О расширяющейся вселенной» пересеклись две фундаментальные темы: временная асимметрия космологии и релятивистская квантовая теория. А точка пересечения представляла собой попытку построить космологическую модель, реализующую гипотезу Бора о несохранении энергии. Бронштейн прекрасно знал ситуацию в релятивистской космологии и понимал возможности (и невозможности) ОТО, не включающей в себя квантовую теорию. Он считал, что космологическую проблему и в особенности проблему временной асимметрии нельзя решить, ограничиваясь только рамками ОТО (вопреки мнению Леметра), и что для этого необходима квантово-релятивистская теория. А значит, в соответствии с боровской гипотезой, надо учесть несохранение энергии, что Бронштейн и сделал эффективно, предполагая космологический член Л в уравнениях ОТО зависящим от времени.

Так возникла первая физическая «константа», зависимость которой $_4$от времени была увязана с расширением Вселенной[36]. В современной космологии, видящей свой фундамент в единой теории взаимодействий [201], также появляется космологическая константа, зависящая от возраста Вселенной (от ее температуры, меняющейся с возрастом). И так же как в модели Бронштейна, в нынешних построениях энергия может перекачиваться от «видимых» форм материи к «невидимому» Л-полю. Когда историк науки говорит о предвосхищении, это нередко производит впечатление натяжки — слишком сильно научная ситуация меняется со временем. Мы не станем употреблять этого слова. Но не забудем, что идеи, переданные научному сообществу, начинают жить собственной жизнью, легко забывая свое происхождение.

Вернемся теперь к статье Бронштейна. В добавлении к ней, датированном 13.1.1933 г. и возникшем в результате харьковских обсуждений с Эренфестом и Ландау (которых Бронштейн благодарит), замечание Ландау было опубликовано впервые:

« Ландау привлек мое внимание к тому факту, что выполнение гравитационных уравнений эйнштейновской теории для пустого пространства, окружающего материальное тело, несовместимо с несохранением массы этого тела. Это обстоятельство строго проверяется в случае решения Шварцшильда (сферическая симметрия); физически это связано с тем фактом, что эйнштейновские гравитационные уравнения допускают только поперечные гравитационные волны, но не продольные...».

Указанная несовместимость ГН с ОТО не разрушает бронштейновскую модель, но делает ее малопривлекательной: «То, что в моей работе эта трудность обходится, основано на использовании макроскопических уравнений вместо микроскопических; рождение излучательной энергии в ядрах звезд [подчиняющихся, как тогда считалось, квантово-релятивистской теории] трактуется как новая форма энергии, связанная с Л-полем, которая компенсирует боровское несохранение. Этот выход из указанного трудного положения кажется очень неприятным; никаких других в настоящее время не видно. Данный парадокс в действительности очень озадачивает, он характерен для трудностей, возникающих в связи с космологической проблемой» (об отношении Бронштейна к космологии см. гл. 5).

Напомним, что в ОТО масса сферически-симметричного источника в пустоте не может зависеть от времени и что поперечность электромагнитных волн связана с законом сохранения заряда. Как мы видим, у Бронштейна несовместимость ГН и ОТО описана гораздо определеннее, чем в письме Гамова (и в статьях [147, 148]). Это, впрочем, не удивительно; судя по публикациям, Гамов владел ОТО далеко не в той мере, как Бронштейн.

Суть соображений Ландау можно пояснить следующим образом. Согласно ОТО роль источника гравитационного поля — роль заряда — играет энергия (или соответствующая ей масса: $E = Mc$). Поэтому, аналогично электродинамике, нельзя изменить энергию в какой-то области без того, чтобы изменение не было скомпенсировано переносом энергии через границу этой области (теорема Гаусса). Нельзя предполагать нарушение ЗС только в микрообластях и уповать на будущую квантово-релятивистскую теорию. Ведь, поместив такую микрообласть внутри области достаточно большой, заведомо относящейся к сфере применимости ОТО, получили бы нарушение ЗС уже в пределах ОТО.

Хотя замечание Ландау не было вполне определенным в математическом смысле, с физической точки зрения оно казалось почти убийственным для ГН. Об этом свидетельствует отчаянное предположение Бора, что теория гравитации неприменима к атомным частицам [118, с. 172]. Впрочем, как уже сказано, это не спасало положения — надо было менять теорию гравитации и вне микромасштабов. Гамов по этому поводу писал: «отказ от закона сохранения энергии должен необходимо повести к изменению общих уравнений гравитации для пустого пространства. Это, конечно, возможно, но весьма неудобно» [148, с. 391].

Бронштейн, знаток ОТО, яснее видел всю меру этого «неудобства». Во введении к своей главной работе о квантовании гравитации он отмечает, что указанное Ландау обстоятельство, «по-видимому, исключает возможность нарушения закона сохранения энергии в материальных системах, хотя бы и не подчиняющихся общей теории относительности (например, в системах, подчиняющихся «релятивистской теории квант»). В самом деле, изменение энергии (и, следовательно, массы) такой системы должно привести к распространению гравитационных волн в окружающем пустом пространстве, подчиняющемся обыкновенной («неквантовой») общей теории относительности; эти волны, на основании соображений симметрии, должны иметь продольный характер, а это исключается уравнениями закона тяготения в пустом пространстве. Этот качественный аргумент Ландау, впрочем, до сих пор не получил более подробного количественного обоснования» [31, с. 196].

К концу 1935 г., когда были написаны эти слова, математическая неопределенность указанной взаимосвязи уже не имела особого значения, поскольку к тому времени ГН утратила привлекательность почти совсем. Однако, несмотря на такую неопределенность и на смехотворную малость гравитационных эффектов в микрофизике, для сторонников ГН этот теоретический аргумент был сильнее новых экспериментальных данных по Р-спектрам. В этом можно убедиться по статьям Бора и Гамова [118, 147, 148]. Даже Паули в 1937 г., когда проблема ЗС уже закрылась, в лекции, прочитанной во время пребывания в СССР, говорил об этом аргументе как о существенном достижении [251] [37]. Теоретики были готовы изменять понятия для продвижения физики вперед, но не жертвовать классическим наследием, в которое тогда уже входила ОТО (обычное для науки сочетание революционности и консерватизма).

Гипотезу несохранения энергии в ядерной физике отделяло от гравитации не такое большое расстояние, как может показаться. Уже при появлении эта гипотеза (в рукописи Бора 1929 г. [247]) применялась для объяснения источника солнечной энергии. В дальнейшем, несмотря на неконструктивность ГН, астрофизическое ее приложение обросло даже некоторой плотью. Главную роль в этом сыграла работа Ландау 1932 г. о предельной массе звезды из ферми-газа [214]. Сейчас этот результат воспринимается только в связи с теорией белых карликов и черных дыр, однако в то время он воспринимался иначе. Сам Ландау считал, что обнаружил существование в звездах областей (названных им патологическими), требующих для своего описания ch-теории и, в соответствии с идеей Бора, рождающих

из «ничего» энергию излучения звезд. Подразумевался некий циклический процесс, в котором рождается энергия: патологическая область — гигантское ядро — испускает Р-электроны высокой энергии, а поглощает — низкой [81, с. 230].

Сейчас кажется очень странным, почему проблема источников звездной энергии так настойчиво привязывалась к ГН. Ведь на эту роль уже были предложены и синтез гелия из водорода, и аннигиляция электрона и протона (еще не запрещенная законами сохранения лептонного и барионного зарядов). Оба эти способа горения звезд были хорошо известны, их не раз обсуждал и Бронштейн.

Чем же они не устраивали? Прежде всего, оба опирались на закон сохранения энергии (Д E = ДМ/ $c2$), а в особых условиях недр звезд, где эти механизмы могли бы действовать, применимость ЗС сама была под вопросом. Кроме того, физикам-теоретикам мешал максимализм в отношении к астрономическому материалу — стремление объяснить сразу все из первых принципов. Теория звездной эволюции оказалась тогда в тяжелом состоянии: физикам стала ясна переупрощенность основного ее предположения, согласно которому звезды состоят из идеального газа (только впоследствии обнаружилась обширная область применимости этого предположения). В то же время наблюдательный материал (диаграмма Герцшпрунга—Рессела) намекал на одномерную эволюционную связь различных типов звезд и провоцировал на фундаментальное физическое объяснение. Причина, по которой отвергался общепризнанный теперь механизм горения (синтез), состояла в том, что он давал слишком много гелиевой «золы» и не мог объяснить эволюционного перехода между состояниями звезд, сильно отличающимися по массе.

Ограниченность и даже наивность подобных соображений сейчас понятна каждому, кто знаком со сложным — далеко не одномерным — материалом по звездной эволюции, накопленным к настоящему времени. Известно также, что массу звезда может сбрасывать, а не только высвечивать по релятивистскому закону ДE = ДМc . Однако все это известно сейчас, а в тогдашней астрономо-физической обстановке выводы относительно «патологических областей» в сердцевинах звезд принимались всерьез, в частности В. А. Амбарцумяном [91], творческий путь которого в середине 30-х годов уже заметно удалился в астрономическом направлении от университетских друзей физиков из Джаз-банда.

С проблемой ЗС взаимодействовала не только астрофизика. Космологический мотив в этой истории, так же как и судьба

замечания Ландау, свидетельствует, что представление об «опыте как верховном судье» описывает эволюцию взглядов теоретика весьма приблизительно.

По словам Паули (в 1957 г.), его антипатия к ГН в 30-е годы питалась, помимо эмпирического факта (верхней границы P-спектра), двумя теоретическими соображениями [252, с. 393]. Во-первых, он, не сомневаясь в законе сохранения электрического заряда, не видел оснований для того, чтобы этот закон и закон сохранения энергии имели бы разные уровни фундаментальности (конкретизацию этого сомнения можно, кстати, видеть в замечании Ландау, в сущности обратившего внимание на параллель между электрическим и гравитационным зарядами). Во-вторых, Паули считал недопустимым, что несохранение энергии в P-процессах подразумевало необратимость физических явлений на фундаментальном уровне. Однако то же самое обстоятельство — возможная временная асимметрия ch-теории — делало ГН привлекательной для Ландау и Бронштейна, которых в те годы занимала проблема космологической необратимости [22]. Любопытно отметить, что спустя два с половиной десятилетия, когда в физике бушевали страсти по поводу уже действительного нарушения закона сохранения (четности), тот же самый Паули счел вполне разумным искать связь этого нарушения с космологическими обстоятельствами [252, с. 383].

Когда с нынешних позиций пытаешься вникнуть в дискуссии 30-х годов о законах сохранения, кажется неизбежным, что к обсуждению должна была привлекаться взаимосвязь законов сохранения с симметрия-ми пространства-времени, в частности связь закона сохранения энергии с однородностью времени. Если вспомнить, что тогда только что был установлен факт расширения Вселенной, т. е. неоднородность времени в космологических масштабах, то легко придумывается аргумент в пользу ГН.

Сейчас подобные взаимосвязи, выражаемые теоремой Нетер, хорошо известны [126]. Однако в материалах тогдашних обсуждений удалось найти только одно соответствующее замечание. В 1936 г. на мартовской сессии Академии наук, в самый разгар «шэнкландского кризиса», о такой связи напомнил Б. Н. Финкельштейн. Ссылался он, правда, только на классические работы К. Якоби[38] и говорил не о связи ГН с космологической асимметрией времени, а о том, что возможное нарушение ЗС предвещало бы радикальное преобразование понятий пространства и времени в будущей фундаментальной теории [264, с. 342]. Финкельштейн работал в ЛФТИ, был хорошо знаком с Бронштейном (переводил книгу под его редакцией), а

основная область его научных интересов (физика твердого тела) далека от фундаментальной физики. Поэтому вполне вероятно, что в устных дискуссиях «нетеровский» аргумент все же присутствовал.

Упомянув об устных дискуссиях, историк науки невольно выдает свое сокровенное желание. Насколько легче было бы установить истинный ход событий, побывав на устных дискуссиях прошлого. Ведь между реальной жизнью науки и публикациями стоит фильтр научных приличий и обычаев, и этот фильтр пропускает сведения весьма разборчиво. Многое могли бы рассказать письма, но уцелеть письмам бывает очень нелегко. Бронштейн писем писал очень много, но чтобы пересчитать уцелевшие, хватит пальцев одной руки...

Соотношение устной — невидимой — и письменной частей научной дискуссии почти навязывает сравнение с айсбергом, как оно ни избито и как сильно ни отличается ото льда то горячее вещество, из которого была сделана дискуссия о законе сохранения энергии. Впрочем, развитие физической теории довольно сходно с движением айсберга. В обоих случаях есть и мощные подводные течения, и прихоти ветра. В обоих случаях плохо вооруженному глазу мощное медленное движение может показаться заранее предначертанным и неуклонным. И перевороты в теории по неожиданности и грандиозности сопоставимы с переворотами айсберга.

Подводная часть физического айсберга содержит не только научные доводы в устной форме. Можно там разглядеть и вещи, на первый взгляд к науке не имеющие отношения.

4.3. Нефизические доводы в физике

Вернемся к бронштейновской агитации за несохранение. Чтобы лучше понять агитатора, надо рассмотреть нефизическое окружение занимающих нас событий. Такое окружение существует всегда, и не часто его можно игнорировать без ущерба для понимания истории физики.

В реальной жизни теоретика действуют «нефизические» факторы двоякого рода — социально-психологические, определяемые положением науки в обществе, и научно-психологические, определяемые многообразием мировосприятий, живущих в физике. Первый фактор имеет прямое отношение к выходу нашего героя за пределы физики при обсуждении физических вопросов.

В Советском Союзе отношение к гипотезе несохранения было горячим и у ее сторонников, и у противников. Причины этого — и общая социально-идеологическая атмосфера страны (революционное преобразование физики созвучно радикальному преобразованию общества), и научно-организационные обстоятельства (относительно велик вес молодых ученых), и повышенное внимание идеологии к естественным наукам, которым надлежало сыграть решающую роль в технической революции и тем самым в социалистической реконструкции общества.

Самыми активными сторонниками ГН были три молодых теоретика — Ландау, Гамов и Бронштейн. Наибольший вклад в развитие ГН сделал Ландау: два его результата были «за здравие» и один «за упокой». Его (совместная с Пайерлсом) работа 1931 г. о релятивистском обобщении принципа неопределенности воспринималась как предсказание радикального преобразования понятий в ch-теории, и этому была вполне созвучна ГН, областью определения которой считали как раз ch-явления. Работу Ландау 1932 г. о предельной массе холодной звезды воспринимали как обнаружение реальных областей, где должна действовать ch-теория вместе с ГН. Эти два довода «за» уравновесил один контрдовод — несовместимость ГН и ОТО.

Сочувствие Гамова гипотезе несохранения проявлялось в его научных обзорах, популярных статьях и, наконец (с чего можно было начать), в том, что эту боровскую гипотезу Гамов опубликовал раньше Бора.

Но, пожалуй, ярче всего позицию несохраненцев (как тогда выражались) излагал Бронштейн. О гипотезе несохранения энергии говорится в его популярных книжках [81, 82], а статья

[79] целиком посвящена этому. Изложение ГН в [82] и особенно в [79] сопровождается не обычным для автора аккомпанементом нефизического характера со словами «буржуазия», «пролетариат» и т. д. Объяснить это можно, только учитывая позицию противников ГН, активно выступавших в печати. Дело в том, что в 30-е годы некоторые философы и философствующие журналисты — защитники закона сохранения — были готовы включить этот закон в уголовный кодекс и объявлять классовым врагом всякого, смеющего в нем усомниться.

Наиболее ярким, точнее сказать — мрачным примером такого рода были статьи В. Е. Львова, считавшего себя научным публицистом[39]. Уровень его аргументации вполне характеризует то, что он из философских цитат выводил соотношение $E = Mc_г$ (в отличие от большинства «единомышленников по перу» он с энтузиазмом относился к теории относительности, запрещая лишь ее идеалистические извращения и, в частности, космологию; он автор первой советской биографии Эйнштейна, вышедшей в серии ЖЗЛ в 1958 г.). А стиль его трудно описать, не используя слово «облаивал». Со страниц «Нового мира» Львов призывал добить (его лексикон) все еще не добитую группку физиков во главе с Ландау и Бронштейном, которая орудует в советской науке, тянет ее на сотни лет назад и прикрывает свою деятельность двурушническими декларациями [227—229] (три десятилетия спустя он находил уже совсем другие слова для этих физиков [231], см. также [172]).

Конечно, статьи Львова были крайней формой «защиты» ЗС[40], но идеологическая острота и нефизическая аргументация проникали также и в статьи, написанные некоторыми физиками. Такой, например, была первая из двух статей о законе сохранения энергии Д. И. Блохинцева и Ф. М. Гальперина, помещенных в журнале «Под знаменем марксизма», в № 2 и 6 за 1934 г. В этой статье среди аргументов в пользу «великого, вечного и абсолютного закона природы» заметное место занимают идеологические. Утрированно представляя позицию «ретивых гонителей закона сохранения энергии в стране диалектического материализма (Гамова, Ландау, Бронштейна и др.)» [110, с. 106], авторы объявляли эту позицию идеализмом и следствием «недостаточной пропаганды диалектического материализма в среде наших физиков». Физическим доводом в пользу ЗС служил прежде всего перечень случаев, когда этот закон сыграл важную роль в атомной физике,— перечень действительно весьма красноречивый, но, надо думать, хорошо известный Бору и его сторонникам (достаточно вспомнить главную боровскую формулу $E_2—E_1=h\nu$). Авторы [110] перечислили несколько путей выхода

из кризиса, порожденного непрерывным Р-спектром, без ущерба для ЗС, упомянув нейтринную гипотезу лишь последней по счету.

Такой накал страстей вокруг ЗС побудил даже А. Ф. Иоффе, нисколько не сочувствующего боровской гипотезе (видимо, как экспериментатор), выступить в защиту самой постановки вопроса о ЗС: «На эту постановку вопроса у нас накинулись, как на некое преступление против диалектического материализма. Я уверен, что такое обвинение есть совершенное непонимание основ диалектического материализма. ... Никакой опытный закон не может претендовать на то, чтобы быть обязательно справедливым для такой области явлений, которая впервые становится доступной опыту. Святых законов в физике не может быть, закон сохранения энергии тоже не есть святой закон, и канонизировать его нет никаких оснований» [195, с. 60][41].

Так что же, герой нашей книги просто поддался веяниям времени, когда привлекал нефизические соображения? Трудно ответить на подобный вопрос вполне однозначно. Однако, внимательно прочитав другие публикации Бронштейна и подробно расспросив близко знавших его людей, приходишь к выводу, что необычная для него агитация в [79] была вызвана прежде всего неуместными аргументами противников боровской гипотезы: неуместность проще всего показать, используя сходные по своей природе соображения не против, а за.

Бронштейна не заподозришь в том, что он был узкий специалист — «хомо физикус» в чистом виде. Не был он безразличен и к философии, глубоко понимал диалектику развивающегося знания. И, естественно, протест у него вызывали попытки философскими цитатами доказать, подобно чеховскому соседу, что «этого не может быть, потому что этого не может быть никогда». В книге [82], прежде чем рассказать о ситуации, возникшей в физике после опытов Эллиса— Вустера, Бронштейн несколько страниц уделил историко-философскому рассмотрению, возбуждая сомнение в неограниченной применимости ЗС. В частности, он подчеркнул, что превращение элементов, которое после многовековых безуспешных стараний алхимиков было признано невозможным, стало фактом в ядерной физике. В сущности, его соображения сводились к тому, что философское знание достаточно определенно, чтобы направлять мысль, но не настолько определенно, чтобы превратить какой-либо конкретный результат физической мысли в абсолют.

Однако такие, как Львов, думали, что «суперарбитром здесь, в опыте Вустера—Эллиса, как и всюду... выступает марксистско-ленинское учение» [225], что все приговоры этим суперарбитром уже вынесены, и нужно только поискать подходящий в толстых

томах.

Печально известны последствия такого арбитража для естествознания в конце 40-х — начале 50-х годов. Но в 30-е годы подобные тенденции встречали активное противодействие. И гипотезу несохранения Бронштейн защищал философски совершенно правильно, несмотря на то что сама гипотеза умерла. Потому что смерть ее была физической, а не философской.

Не следует думать, что в физических дискуссиях так уж редко применяются нефизические доводы. Чем сильнее физик хочет утвердить свою позицию, тем меньше он стремится строго соблюдать «правила физической игры». Тем более что строгость этих правил — иллюзия, поскольку интуиция неизбежно выводит за пределы логических индукций и дедукций. Только глядящим на науку издалека может показаться, что доводы, составляющие научную дискуссию, подобны фрагментам таблицы умножения. Ситуации в науке бывают настолько неопределенны, что в дискуссии противостоят разные интуиции, разные исследовательские программы, в той или иной степени выходящие за рамки научного опыта. И когда возможности физической аргументации исчерпываются, доводы берутся из всего культурного запаса, которым физик располагает. Разумеется, какие доводы он выберет, зависит от его мировосприятия. А когда развитие физики предоставляет аргументы достаточно определенные, похожие на 2x2 = 4, они уже в некотором смысле не нужны — знание уже получено и чья-то интуиция восторжествовала; хотя, конечно, эти — определенные — аргументы нужны для педагогических целей и... для дальнейшего развития знания, ведь определенность-однозначность аргументов через некоторое время оказывается иллюзорной и т. д.

Приведем только два примера, когда нефизический компонент проявился. В знаменитой дискуссии о квантовой механике легко заметить гуманитарные аргументы: Эйнштейн и Бор говорили о совести, справедливости, склонности Всевышнего к азартным играм, а не только о свойствах волновой функции [169]. Другой пример — эпиграфы к книге С. И. Вавилова о теории относительности, вышедшей, когда вокруг ОТО еще бушевали споры. Эпиграфы автор взял из Ньютона и с их помощью явно хотел усилить впечатление об экспериментальной обоснованности ОТО, к тому времени еще не очень определенной. Инструкции по употреблению эпиграфов, конечно, нет, но выбранные Вавиловым фразы в ньютоновском контексте имели смысл, весьма отличный от того, который им припишет неискушенный читатель [129].

В любом подобном случае нефизические доводы означают, что прибегающий к ним физик глубоко неравнодушен к обсуждаемой теме. Бронштейну, несомненно, хотелось, чтобы гипотеза несохранения оправдалась. Попытаемся разобраться почему. Для этого обратимся к научно-психологическому подтексту проблемы ЗС, к исследовательским программам физиков, к различию их мировосприятий.

Полезно различать два типа физиков-теоретиков — назовем их условно «мыслитель» и «прагматик». Они различаются характером проблем, которые их особенно занимают, интуитивными оценками ситуации в целом и отдельных ее составляющих. Прагматики считают, если воспользоваться выражением Ландау, краткость человеческой жизни достаточной причиной, чтобы не размышлять над вопросами, не обещающими скорого решения. Для мыслителей, в отличие от прагматиков, физика не сводится к решению отдельных задач; для них целостная картина мироздания — предмет жизненной необходимости. Мыслители и прагматики, композиторы и исполнители, размышляющие и делающие, думающие и вычисляющие... Нелегко придумать пару нейтральных названий, свободных от эмоциональной нагрузки и тем самым от некоторой оценки. Мыслитель и прагматик, вероятно, предпочли бы разные пары названий.

Разумеется, в чистом виде оба типа удручающи (болтун и арифмометр). В личности реального теоретика сочетаются характеристики обоих типов, и можно говорить только о преобладании одного из них (например, Эйнштейну — явному мыслителю — были присущи и развитые изобретательские наклонности [288]). Нет также прямой связи между типом мировосприятия и масштабом достижений. Если компонент «мыслителя» характеризовать некоторой величиной *М,* а «прагматика» — П, то тип творческого мышления определит лишь знак разности *(М—П),* а достижения зависят скорее от произведения МхП.

Среди выдающихся физиков есть представители обоих типов, и их сотрудничество необходимо для эффективного развития науки. Мыслителям жить в некотором смысле труднее, поскольку они заботятся о гораздо большем сооружении, но история физики показывает, что наиболее глубокие изменения в физической картине мира происходят благодаря им.

Из приверженцев ГН, о которых говорилось в этой главе, Бронштейна, подобно Бору, следует относить к «мыслителям». И этим можно объяснить, что они дольше других не отказывались от ГН; напомним, что Бор отказался только в 1936 г. Причины, по

которым они эту гипотезу приняли, имели гораздо более фундаментальную природу, чем теория Ферми, нацеленная на одно явление ядерной физики — Р-распад.

Будь Бор прагматиком, вряд ли бы он выдвинул вновь, хоть и в новых обстоятельствах, свою гипотезу несохранения, которую отвергнул эксперимент всего за несколько лет до этого. Однако для человека, который настроен на поиски картины мироздания, один раз уже продумал радикальную гипотезу и нашел ей место в своей картине, такой возврат более понятен.

В приверженности Бронштейна гипотезе несохранения «виновата» также широта его интересов. Кроме ядерной физики, он держал в поле зрения фундаментальные проблемы астрофизики и космологии, для которых, как он был убежден, совершенно необходима *ch*-теория (подробнее см. в гл. 5). А гипотеза несохранения тогда, во втором своем явлении, неразрывно увязывалась с ожиданием последовательной ch-теории.

4.4. Дуэль в «Сорене»

Чтобы яснее представить различие взглядов на боровскую гипотезу, вернемся к статье Бронштейна «Сохраняется ли энергия?». Ее напечатал в первом номере за 1935 г. журнал «Сорена» («Социалистическая реконструкция и наука») — самый толстый и, пожалуй, самый научный из тогдашних популярных журналов (в его редколлегию входили виднейшие ученые, главным редактором был Н. И. Бухарин). Статье Бронштейна редакция противопоставила, как указано в примечании, критическую статью С. П. Шубина «О сохранении энергии», предложив высказаться и другим физикам; отсюда видно, какое внимание проблема ЗС привлекала в середине 30-х годов.

Подытоживая 50-летнее развитие теоретической физики в СССР, Тамм упомянул Бронштейна и Шубина рядом как «исключительно ярких и многообещавших» физиков своего поколения [268]. Оба теоретика, почти ровесники, были арестованы в 1937 г., став жертвами сталинизма. Оба погибли трагически рано, не успев раскрыть своих талантов.

Семен Петрович Шубин (1908—1938), ученик Л. И. Мандельштама и И. Е. Тамма, с 1932 г. заведовал теоротделом Уральского физико-технического института и энергично участвовал в становлении физики на Урале [136, 137]. Возглавивший после него уральскую школу магнетизма С. В. Вонсовский посвятил памяти учителя и друга главный свой труд — капитальную монографию «Магнетизм» [135].

Чтобы понять различие отношений к ЗС у Бронштейна и Шубина, надо учесть, что, хотя у Шубина был широкий кругозор, основные его работы относились к физике твердого тела, а не к фундаментальным областям. Другое важное обстоятельство — совсем другое — заключалось в активной общественно-политической позиции Шубина. Из-за этой активности ему пришлось на год прервать учебу в МГУ (в 1928 г. его выслали на Урал, в Ишим), а в 1930 г. он добровольно поехал на строительство Магнитогорска, работал там в газете. Идеологические вопросы, и в частности взаимодействие марксистской философии и современной физики, занимали Шубина всерьез. Это хорошо видно по сохранившимся у С. В. Вонсовского конспектам лекций Шубина, а также по его рукописи (видимо, 1932 г.), посвященной методоло$_1$г$_0$ическому и философскому анализу квантовой физики[42].

Судя по шубинской рукописи, философскими противниками он считал «механистов-тимирязевцев», запрещавших от имени

диамата всю новую физику. Не меньший отпор вызвали те, кто благодушно считал, что надо только переждать — со временем в физике все странности исчезнут и все станет на свои места, заготовленные классической наукой. Эти философы, преуменьшая шаг диалектической спирали (по которой должно развиваться знание), сводили ее, таким образом, к окружности. С такой философией Шубин познакомился во время учебы в Московском университете (где преподавал А. К. Тимирязев). Но автор рукописи не сомневался, что «будущая уточненная формулировка законов микромира», господствующих внутри ядра и относящихся к релятивистской квантовой теории, сопряжена с еще более радикальной перестройкой понятий, чем квантовая механика, а в подтверждение упоминается работа Ландау и Пайерлса

1931 г.

В этом мнения Шубина и Бронштейна совпадали. Впрочем, как уже говорилось, такие ожидания преобладали у физиков-специалистов (и все они были бы очень разочарованы, узнав, на сколько ожидавшаяся перестройка затянется).

Почему же тогда их взгляды на проблему ЗС отличались так сильно?

Раскроем журнал «Сорена» и проследим внимательнее за их дуэлью. Отдавая должное ясному изложению Бронштейном физических — экспериментальных и теоретических — доводов в пользу ГН, Шубин весьма скромно оценил его философские соображения и резюмировал статью Бронштейна следующим образом: «Непосредственных экспериментальных свидетельств за или против закона сохранения энергии у нас в ядерной физике сегодня нет. Непосредственных теоретических указаний, которые позволили бы однозначно решить вопрос о судьбе этого закона, тоже нет, так как релятивистской теории квант не существует. Но мы, материалисты-диалектики, имеем в своих руках мощный методологический принцип, владея которым можно смело глядеть в лицо будущему. Этот принцип гласит: "все может быть". Закон сохранения энергии, столь импонировавший бухгалтеру-буржуа, строившему мир по образу и подобию приходно-расходной книги, может каждый день лопнуть. Мечта алхимиков о вечном двигателе имеет шансы осуществиться в будущем коммунистическом обществе».

Это, конечно, окарикатуренное изложение. На самом деле Бронштейн выразительно, хотя и несколько легковесно, обрисовал зависимость, господствующей философии от господствующей социальной реальности и рассказал об эволюции отношения к вечному двигателю и закону сохранения энергии. Из

материализма он извлек только то, что «никакой физический закон не является догматом и не может считаться a priori абсолютной и универсально применимой истиной».

Шубин от имени физиков-марксистов приветствует «факт, что такой человек, как Бронштейн, начинает аргументировать "от материализма"», но не без ехидства сожалеет, что тот «скромно умалчивает о других — гораздо более определенных — высказываниях по вопросу о законе сохранения энергии, которые делались в марксистской литературе. Автором этих высказываний является такой небезызвестный марксистский писатель, как Фридрих Энгельс...».

Назвать соответствующие высказывания Энгельса малоизвестными в то время действительно нельзя. Противники ГН их обильно использовали. В частности, и Львов запрещал сомневаться в ЗС с помощью цитат Энгельса (без малейших попыток сопоставить две физические эпохи). Разумеется, подобного запрета у Шубина не найти; он формулирует позицию Энгельса так: существование законов сохранения «отражает собой чрезвычайно общий факт неразрушимости движения и потому *в той или иной форме* они должны найти свое выражение *в любой* правильной физической теории».

Бронштейн, конечно, тоже не выводит ГН из материализма: «Материалистическая философия, как мы видели, учит, что он [ЗС] *может* оказаться неверным, но не утверждает, что он обязательно *должен* оказаться в этой [квантово-релятивистской] области неверным». Ему философско-исторические соображения служили не для аргументации, а для агитации. Надо было раскачать ЗС, снять с него нимб абсолютности. Бронштейн, глубоко зная физику в ее историческом развитии, ясно видел огромный психологический барьер перед ГН. В 1930 г., рассказывая о сомнениях в ЗС, возникших в связи с открытием радиоактивности, он сам называл этот закон «одним из наиболее основных и надежных физических законов» [63, с. 25].

Когда мы переходим от философской к физической составляющей статей двух молодых теоретиков, ситуация становится содержательней. Для Шубина главный аргумент за расширение применимости ЗС — успех теории Ферми, которой он уделяет значительное место, но которую Бронштейн даже не упоминает. С другой стороны, Шубин оставляет безо всякого ответа приводимые Бронштейном соображения, связанные с ограниченностью понятий в квантово-релятивистской области, с тем, что «электрон невозможно разрезать на части»[43].

Чем объяснить такое взаимное умолчание? Может быть, Бронштейн недооценил теорию Ферми? Нет, этого сказать нельзя.

Уже в следующем номере «Соре-ны», подводя итоги ядерной физики, главным достижением 1934 года он назвал работу Ферми [80]. Но для Бронштейна, как и для многих других теоретиков, это был успех местного, а не стратегического, значения. Ко «многим другим» относились вовсе не только сторонники ГН, к ним относился и сам Ферми, и — в еще большей степени — Паули. Внешнее оправдание теории не компенсировало для них ее внутреннего несовершенства. Однако описать несовершенства теории Ферми в нескольких словах на уровне «Сорены» вряд ли мог тогда даже Бронштейн. Еще труднее было объяснить человеку, не живущему теоретической физикой, почему не очень определенные соображения, связанные с квантово-релятивистской неопределенностью (каламбур здесь почти неустраним), могут перевесить проверяемые количественные расчеты. Видимо, поэтому Бронштейн не упомянул теорию Ферми.

Различие отношений Бронштейна и Шубина к ГН объясняется различием их исследовательских программ. Область главных результатов Шубина — приложение квантовой механики в физике твердого тела, и ему для успешной работы «вредно» было концентрировать внимание на несовершенстве фундамента той теории, приложением которой он занимался. Бронштейн же свою творческую энергию (не заботясь о ее сохранении) направлял больше всего как раз на фундаментальные области теоретической физики. В частности, квантово-релятивистские соображения, на которые не откликнулся Шубин, приобрели в том же 1935 г. гораздо более определенное и фундаментальное выражение в работе Бронштейна о квантовании гравитации (подробно об этом в следующей главе).

Как нередко бывает в споре талантливых и честных людей, Бронштейн и Шубин оба — каждый по-своему — были правы. Шубин был прав в том, что ГН не следует из философских соображений, и в том, что физика ядра к 1935 г. перестала питать надежды несохраненцев. А Бронштейн был прав в том, что физике не обойти проблем квантово-релятивистской теории, и в том, что философскими доводами закон сохранения не доказать. Если бы Шубин ближе был знаком с Бронштейном, с присущей ему иронией и не слишком серьезным отношением к идеологической « чистоте» физики, он бы, наверно, заподозрил, что Бронштейн пишет о буржуазности закона сохранения не по простоте душевной, а чтобы наглядно продемонстрировать неуместность политико-философской аргументации типа той, какую употребили Блохинцев и Гальперин за несколько месяцев до дуэли в «Сорене».

4.5. Конец гипотезы несохранения

В наше время нелегко прочувствовать атмосферу, в которой возникли и жили сомнения в ЗС. Могло бы показаться, что уж в 1935 г. только подслеповатые упрямцы верили в ГН. Но так может показаться тому, кто смутно представляет себе тогдашние обстоятельства. Завершался период развития физики, быть может, самого интенсивного с ньютоновских времен. Закон инерции (действующий не только в ньютоновской механике, но и в психологии) обещал все новые чудеса. Чтобы вызвать неприязнь к ГН, Шубин назвал вечный двигатель мечтой алхимиков. Однако по тем временам это был аргумент о двух концах, и вторым не преминул воспользоваться Бронштейн, когда в [82] он напомнил, что совсем недавно осуществилась другая, главная, мечта алхимиков — превращение химических элементов друг в друга.

Еще показательней реакция физиков на опыты Шэнкланда. К началу 1936 г. идея нейтрино (и ЗС) получила не только серьезное эмпирическое подтверждение, но и теоретическое развитие. Аргументы же в пользу ГН истощались, не получая подкрепления и встретившись с серьезным теоретическим препятствием — несовместимостью с ОТО. Тем поразительней отклик на утверждение Шэнкланда о неприменимости фотонной теории и ЗС для комптоновского эффекта в у-области.

«Сейчас физика стоит перед той перспективой, что ей придется произвести решительное изменение в своих основах, изменение, включающее в себя отказ от некоторых ее принципов, в которых она была до сих пор больше всего уверена (сохранение энергии и импульса), и замену их теорией Бора, Крамерса, Слетера или чем-то подобным... Единственная важная вещь, от которой мы отказываемся,— это квантовая электродинамика. Поскольку, однако, единственное значение квантовой электродинамики, кроме объединения предположений теории излучения, состоит в объяснении тех самых совпадений [при взаимодействии фотонов с частицами], которые сейчас опровергнуты экспериментами Шэнкланда, мы можем отказаться от нее без сожалений — в действительности из-за ее крайней сложности большинство физиков будут очень рады видеть ее конец».

Кто это написал и когда? Нелегко поверить, что эти слова написаны в феврале 1936 г. одним из создателей квантовой электродинамики П. Дираком [180]. В обзорной статье в УФН редактор журнала Э. В. Шпольский указывал тогда: «Наиболее сильным аргументом в пользу автора [Шэнкланда] является то,

что его работа выполнена под руководством А. Комптона, который, таким образом, вместе с автором несет ответственность за ее результат» [300]. Для Дирака не менее важным было отсутствие успехов в построении последовательной — математически красивой — релятивистской квантовой теории (хорошо известно кредо Дирака: «Физический закон должен обладать математической красотой»).

Экспериментальный результат, полученный в авторитетной лаборатории и подкрепленный мнением одного из виднейших теоретиков, *в тогдашней атмосфере* сделал свое дело: уверенность физиков в ЗС вдруг очень помягчела. О настроениях советских физиков можно судить по материалам мартовской сессии АН СССР 1936 г., на которой опыты Шэнкланда активно обсуждались [264]. Среди видных советских физиков явно отрицательно был к ним настроен только А. Ф. Иоффе (кроме прочего, он ссылался на проведенные в ЛФТИ опыты, подтверждавшие ЗС в у-области при рождении ее -пар). Другие относились сочувственно (С. И. Вавилов, Д. В. Скобельцын) или очень осторожно (И. Е. Тамм). При этом стали уже разделять философское и физическое понимания проблемы ЗС.

Цитированная статья Шпольского кончается так: в случае нарушения закона сохранения «философская предпосылка о неуничтожаемости движения, разумеется, остается в силе. Если бы оказалось, что инварианты, найденные для макроскопических движений и оказавшиеся безупречно применимыми и для элементарных микроскопических процессов с тяжелыми частицами, неприменимы к случаю взаимодействия фотона и электрона, то это должно было бы послужить лишь стимулом к отысканию новых, более общих инвариантов». Понимание того, что речь идет не просто об уничтожении ЗС, а о растворении его в каком-то более общем законе, разумеется, было у сторонников ГН, начиная с самого Бора — автора принципа соответствия. А не писали они об этом «запасном выходе» из-за его очевидности и отсутствия философской осторожности.

Прежние энтузиасты ГН, включая Бронштейна, встретили публикацию Шэнкланда довольно спокойно [84], поскольку никаких новых *теоретических* аргументов в пользу ГН не обнаружилось. Поэтому, как только результаты Шэнкланда были экспериментально опровергнуты, сама гипотеза несохранения энергии прекратила свое существование.

Стоит ли целую главу уделять гипотезе, в конце концов отвергнутой и забытой? Конечно, проще устроить прогулку по Выставке Достижений Научного Хозяйства, но оцепить представленные там достижения можно по-настоящему, только

понимая, какого пота и крови они стоили. Кроме того, когда говорят об эволюции идей, эпитеты «правильная» и «плодотворная» отнюдь не эквивалентны. Правильные идеи (подтверждаемые будущим развитием науки, иногда только спустя десятилетия) могут быть неплодотворны, и наоборот. История знает примеры обоего рода.

Внимательно рассматривая неприятности закона сохранения энергии в 20—30-х годах, можно увидеть прихотливое взаимодействие идей и фактов в сознании теоретика, лучше понять роль в этом взаимодействии мировосприятия, исследовательской программы.

Необходимо только помнить, что в этой главе для удобства изложения (и пренебрегая опасностью искажения) события, связанные с ГН, отделены от других. Это, конечно, возможно только на бумаге, но не в жизни. Бронштейн в эти же годы занимался полупроводниками, астрофизикой, ядерной физикой, космическими лучами, равновесием излучения и пар при сверхвысоких температурах, релятивистским обобщением принципа неопределенности. А летом 1935 г. он занялся проблемой квантования гравитации. Несколько месяцев интенсивной работы завершились докторской диссертацией и двумя статьями. Именно размышления над квантово-релятивистским описанием гравитации, или cGh-физикой, видимо, особенно сильно повлияли на его отношение к ГН. Дело в том, что в своей работе он, в частности, проследил соответствие *cGh*- и *cG*-описаний, поэтому несовместимость ГН и ОТО (о которой говорилось выше) должна была стать для него особенно нетерпимой. По соответствующему замечанию из статьи [31], датированной декабрем 1935 г., т. е. до появления публикации Шэнкланда, можно почувствовать, что к гипотезе несохранения энергии Бронштейн уже совсем остыл.

Глава 5. cGh-физика в биографии Бронштейна

Расскажем теперь о работах Бронштейна, которым суждено было стать главным его вкладом в науку. Это его работы в области теории гравитации и космологии. Наиболее известны результаты его диссертации 1935 г. «Квантование гравитационных волн».

5.1. Недиссертабельная диссертация

Квантовая теория гравитации как тема исследования и как тема докторской диссертации Бронштейна в 1935 г. могла вызвать недоумение сразу по нескольким причинам. Прежде всего проблему эту тогда никак нельзя было назвать актуальной. Эйнштейн и немногие его единомышленники стремились получить квантовые законы из единой теории поля, обобщающей ОТО. За этим исключением, фундаментальная физика почти целиком была поглощена теорией ядра и квантовой электродинамикой. Этих теорий настоятельно требовала область явлений, позже названная физикой элементарных частиц. А гравитация, как показывали простейшие оценки, для этой области значения не имела. Так что тема, выбранная Бронштейном для диссертации, была в 30-е годы весьма изолированной.

Впрочем, трудно говорить и об актуальности самой ОТО в период ее создания. Конечно, для возникновения ОТО причины имелись, и причины глубокие, но они были внутренними: все они относились к внутреннему несовершенству предшествующей теории [127]. А по внешним, количественным эффектам релятивистская теория гравитации была несравнима с ньютоновским всемирным тяготением и другими фундаментальными теориями в периоды их возникновения. Еще меньшей была практическая потребность в квантовой теории гравитации. История физики, однако, хорошо знает, к каким грандиозным практическим последствиям приводят теории, потребность в которых вначале испытывают только немногие теоретики.

В этой книге уже употреблялись названия, сделанные из фундаментальных констант, органически присущих соответствующей теории, явлению и т. д. Ньютоновскую теорию тяготения можно называть *G*-теорией, ОТО — cG-теорией, а квантовую теорию гравитации — cGh-теорией. Эти обозначения, как мы увидим, восходят к Бронштейну, и они не просто экономят место, а помогают лучше видеть структуру теоретической физики.

Что касается cGh-темы для диссертации, то в 30-е годы не только практически, но и принципиально квантование гравитации не обещало ничего нового. Во всяком случае крупнейшие квантовые авторитеты Паули и Гейзенберг в 1929 г., излагая общую схему квантовой электродинамики, заявили безо всяких оговорок: «Следует еще упомянуть, что квантование гравитационного поля, которое необходимо в силу некоторых

физических причин, проводится без каких-либо новых трудностей с помощью формализма, вполне аналогичного развитому здесь» [159, с. 32]. Важная оговорка была, конечно, необходима. Фактически Паули и Гейзенберг подразумевали, что квантованию подвергается слабое гравитационное поле, для описания которого достаточны линеаризованные уравнения Эйнштейна. Именно так подошел к квантованию гравитации Л. Розенфельд в 1930 г. [259]. Такой заведомо приближенный подход хотя и позволял надеяться на аналогию с электромагнетизмом, но давал повод забыть об особых свойствах гравитации, связанных с принципом эквивалентности, с геометрическим характером и нелинейностью этого поля. Только Бронштейн обнаружил принципиальную сложность квантования гравитации. А современник, не подозревающий об этом, вряд ли счел бы тему его диссертации перспективной.

Тот же современник, если он участвовал в жизни Физтеха, с не меньшим недоумением отнесся бы к тому, что тема диссертации не связана с физикой полупроводников (перспективность которой не вызывала сомнений). Потому что результаты Бронштейна в этой области были тогда хорошо известны. Их высоко оценивал директор ЛФТИ А. Ф. Иоффе [193]. Заведующий теоротделом Я. И. Френкель в отзыве о Бронштейне даже писал: «В настоящее время им уже фактически написана докторская диссертация (на тему об электронных полупроводниках), которую он будет защищать в недалеком будущем» [173, с. 322]. И ученый совет ЛФТИ, присвоив Бронштейну кандидатскую степень за работы по астрофизике без защиты на заседании 10 июня 1935 г., предложил ему представить докторскую диссертацию «Теория полупроводников». В этих обстоятельствах выбрать совсем другую (можно сказать, противоположную) тему — поступок недиссертабельный, или, если не пользоваться нынешним жаргоном, неблагоразумный. Однако степенное благоразумие не было главным качеством Матвея Петровича: кроме того, разве интересно возвращаться к работе трехлетней давности?

И, наконец, тому современнику, который с нашей помощью не устает удивляться теме бронштейновской диссертации, осталось спросить, почему эта диссертация понадобилась вообще. Ведь тогда нередко докторские степени присваивались без защиты диссертации, а в советской теоретической физике Бронштейн был достаточно заметен.

Поясним кое-что для тех, кто не знает, что до 1934 г. в СССР ученых степеней не было. Революция, демократизируя общественную жизнь, отменила разные табели о рангах, в

частности обычные воинские звания и ученые степени. В науке дисциплина и надежность управления не имеют такого значения, как в армии, здесь важнее гибкость структуры и свободная инициатива. Стремление измерять научный уровень диссертациями и обозначать ранг научного работника «звездочками на погонах» подвергается сомнению и в наше время. А в 30-е годы у молодых, активно работающих физиков степенная иерархия вызывала еще больший скепсис: в научном сообществе безо всяких степеней становится известен истинный потенциал каждого. Однако административные преимущества системы званий в условиях планирования науки перевесили, и в январе 1934 г. было принято решение «в целях поощрения научной работы и повышения квалификации научных и научно-педагогических кадров» ввести (в течение двух лет) степени кандидата и доктора наук[44] .

Чтобы новый механизм заработал, нужно было некоторое начальное количество докторов. Право присваивать ученые степени без защиты диссертации имели ВАК, Президиум АН СССР. Помимо членов Академии докторские степени получили и некоторые физики бронштейновского поколения, например Ландау и Шубин. В том, что Бронштейну пришлось защищать диссертацию, не следует видеть сомнение коллег в его докторском потенциале. Просто система присвоения степеней никогда не была особенно стройной, и, кроме таланта и достижений, учитывались также и другие обстоятельства: и занимаемая должность, и концентрация квалифицированных физиков в окружении. Для Ландау и Шубина, переехавших из научных центров Ленинграда и Москвы в только что организованные в Харькове и Свердловске УФТИ и УрФТИ и ставших там заведующими теоротделов, эти обстоятельства были в плюсе, для Бронштейна — в минусе.

По причинам, вполне понятным, молодые физики, действительно заслуживающие научных степеней, относились к диссертациям без почтения; ведь это отвлекало от настоящей научной работы. Поэтому руководителям ЛФТИ приходилось настойчиво побуждать «неостепенившихся», чтобы они своевременно (до конца 1935 г.) оформили свои работы в виде диссертаций. По свидетельству И. К. Кикоина, получив очередную взбучку по этому поводу от А. Ф. Иоффе, Матвей Петрович объяснял, что не хочет готовить полупроводниковую диссертацию, потому что в докторской диссертации обязательно должны быть длинные непонятные формулы. Тут, конечно, и красное словцо, но, вероятно, и свидетельство уже определившейся темы: в квантовании гравитации, где кроме

десяти потенциалов (метрики) участвуют десять импульсов, без сложных формул не обойтись. (Помня обещание М. П. насытить свою диссертацию сложными формулами, Кикоин принес на защиту подзорную трубу, чтобы не пропустить на доске ни одного, даже самого маленького индекса.)

Диссертационную работу Бронштейн сделал за летние месяцы 1935 г. 10 июня ученый совет был еще уверен, что тема диссертации — теория полупроводников, а августом уже датирована статья [30] с изложением квантово-гравитационных результатов.

Защита состоялась 22 ноября 1935 г. Оппонентами выступали два крупнейших советских теоретика — В. А. Фок и И. Е. Тамм. Они высоко оценили работу младшего коллеги, квалификация которого, впрочем, была им хорошо известна и до диссертации. Сохранившаяся стенограмма защиты [173, с. 317—320] и — еще больше — воспоминания очевидцев свидетельствуют, что поведение диссертанта было не очень-то диссерта-бельным. Он не «защищался», а рассказывал об очередной своей работе.

Какой же путь привел М. П. Бронштейна к теме его диссертационной работы?

Самостоятельным исследователем он был уже в студенческие годы, поэтому напрасно искать, кто бы мог дать ему тему диссертации. Скорее, наоборот. Его «непосредственный начальник», заведующий теоротделом ЛФТИ Я. И. Френкель, относился к квантованию гравитации весьма скептически. Это ясно показывает рукопись статьи «Принцип причинности и полевая теория материи» (Личный архив В. Я. Френкеля), которую Я. И. Френкель подготовил для сборника, посвященного Эйнштейну и вышедшего в США в 1949 г. Вопросу квантования гравитации в этой статье уделен почти целиком параграф «Ядерное и гравитационное поля». Автор анализирует точку зрения, согласно которой гравитационное поле, «или во всяком случае та (слабая) часть его, которая образует гравитационные волны, может быть квантована, чему должно соответствовать появление соответствующих частиц — гравитационных квантов, или гравитонов» и указывает: « А. Эйнштейн был, вероятно, первым, кто указал на связь между гравитационными волнами и соответствующими частицами (в беседе с автором в 1925 г.). Подробное математическое исследование этого вопроса было опубликовано в нашей стране М. Бронштейном в 1936 г. Результаты Бронштейна недавно развил Д. Д. Иваненко».

Однако Я. И. Френкель выразил несогласие с такой точкой зрения, считая аналогию между гравитационным и электромагнитным полями весьма поверхностной. Его аргументы

состояли в том, что «электромагнитное поле представляет собой *материю»,* а гравитационное лишь определяет метрические свойства пространственно-временной протяженности; что, «строго говоря, таких вещей, как гравитационная энергия или импульс, не существует, так как соответствующие им величины не образуют настоящего тензора, а являются лишь псевдотензором» (в этом же Я. И. Френкель видит причину неудач многих попыток сведения теории обоих полей в единую теорию поля). Попытки квантовать гравитацию он считает бессмысленными, поскольку «гравитационное поле имеет макроскопический, а не микроскопический смысл, обусловливая лишь некоторую *рамку* для описания физических событий в пространстве и времени, тогда как квантование относится лишь к микроскопическим процессам в *материальных полях».*

Все эти соображения, по существу, не зависели от событий, происшедших после бронштейновской диссертации, и поэтому, а также судя по реплике Френкеля на защите [173, с. 319], можно думать, что его позиция была такой же и в 1935 г.

Отсюда мы, во-первых, еще раз получаем представление о свободной научной атмосфере, характерной для теоротдела ЛФТИ. А во-вторых, убеждаемся, что квантование гравитации вовсе не было само собой разумеющейся, почти технической темой, терпеливо дожидавшейся, пока дойдут до нее руки у теоретиков, исчерпавших темы, более интересные и значительные.

Я. И. Френкель — отнюдь не случайная фигура в области эйнштейновской теории гравитации. Ему, в частности, принадлежит первая в нашей стране книга с изложением ОТО [289]. Для этой книги характерна приверженность к своеобразной электромагнитной картине мира [130]. Но в отношении Френкеля к квантованию гравитации проявилась не только эта приверженность. Сомнения в синтезе квантовых и общерелятивистских идей вызывались особой — геометрической — природой гравитационного поля, отождествлением его с метрикой пространства-времени, а также очевидной малостью эффектов гравитации в микромире[45]. Даже в 60-е годы Розенфельд высказывал мнение, что квантовать гравитационное поле бессмысленно, поскольку оно имеет, возможно, чисто классическую макроскопическую природу [260—261][46]. А ведь Розенфельд был первым, кто рассматривал квантование гравитации на языке формул [259].

Бронштейн в фундаментальности гравитации не сомневался, и для него квантование гравитации, построение полной cGh-теории — проблема, к которой физика должна обратиться

неизбежно. Вместе с тем именно он, как мы увидим, обнаружил настоящую причину, по которой аналогия между гравитацией и электромагнетизмом неточна.. Эта причина не позволяет ожидать многого от попыток по аналогии с квантовой электродинамикой строить квантовую гравидина-мику, подставляя гравитон вместо фотона. По Бронштейну, квантовать гравитацию необходимо, но построить полную теорию по образцу электродинамики невозможно. Вместе с тем Бронштейн получил ответы на важнейшие вопросы в области квантовой гравитации, когда cGh-эффекты слабы и может действовать обычная, «электромагнитная», схема квантования. Эти вопросы касаются соответствия cGh-теории с *cG*- и *G*-теориями гравитации, т. е. взаимоотношения квантовой теории гравитации с ОТО и с ньютоновским законом всемирного тяготения.

5.2. Корни интереса к cGh-физике

Итак, настрой физического сообщества не объясняет тему бронштейновской диссертации. Но тогда корни этой темы надо искать в биографии Бронштейна и в биографии самой физики.

а) Квантовая гравитация до Бронштейна. О том, что необходима квантовая теория гравитации, первым сказал сам Эйнштейн. В 1916 г., всего через несколько месяцев после создания ОТО, при рассмотрении гравитационных волн он отметил: «...атом, вследствие внутриатомного движения электронов, должен излучать не только электромагнитную, но и гравитационную энергию, хотя и в ничтожном количестве. Поскольку в природе в действительности ничего подобного не должно быть, то, по-видимому, квантовая теория должна модифицировать не только максвелловскую электродинамику, но также и новую теорию гравитации» [305, с. 522].

А в 1918 г. в статье о гравитационных волнах Эйнштейн, получив формулу для интенсивности их излучения, сразу же пишет: «Из формулы видно, что интенсивность излучения ни в одном направлении не может стать отрицательной, тем более не может быть отрицательной и полная интенсивность излучения. Уже в прежней работе подчеркивалось, что окончательный результат, согласно которому должна происходить потеря энергии телами вследствие теплового возбуждения, вызывает сомнение во всеобщей справедливости теории. Нам. кажется, что построение усовершенствованной квантовой теории должно повлечь за собой и видоизменение теории тяготения» [307, с. 642]. Эйнштейн, еще не принявший программу единой теории поля, отводил тогда квантовым идеям, как видно, даже более активную роль.

В первом из этих замечаний Эйнштейн имеет в виду проблему электромагнитной нестабильности атома (за несколько лет до этого если не решенную, то преодоленную теорией Бора). Однако его прогноз не мог опираться на количественные оценки. «Высвечивание» атома, рассчитанное в рамках классической электродинамики, приводит к падению электрона на ядро за характерное время

$$\tau_g = E/\dot{E}_g \approx mv^2/(G\ddot{D}^2/c^5) \approx c^5 G^{-1} m r^4 e^{-4} \approx 10^{37}\,\text{с} = 10^{30}\,\text{лет!}$$

(в вопиющем противоречии с наблюдениями). А высвечивание энергии атома в форме гравитационного излучения

(рассчитанного по формуле Эйнштейна) происходит за характерное время

$$\tau_s = E/\dot{E}_e \approx mv^2/(\ddot{d}^2/c^3) \approx c^3 m\omega^{-2} \approx c^3 m^2 r^3 e^{-4} \approx 10^{-10}\text{с}$$

Так что ни о каком непосредственном противоречии с эмпирическими данными говорить нельзя. Опирался Эйнштейн, видимо, на аналогию с электромагнетизмом[47]

После того как Эйнштейн в 1916 г. указал на необходимость квантово-гравитационной теории, на ее долю в течение двух десятилетий доставались только отдельные замечания,— физиков занимали другие трудные и более насущные проблемы (квантовая механика, квантовая электродинамика). И эти немногие замечания подразумевали слишком большую аналогию гравитации с электромагнетизмом.

В начале главы уже приводились слова Гейзенберга и Паули 1929 г. из [159] о том, что квантование гравитации не приводит к принципиально новым проблемам по сравнению с электродинамикой. А саму необходимость квантовой гравитации для них обосновывало, помимо указаний Эйнштейна, замечание из статьи О. Клейна 1927 г. [203]. Это замечание сводилось к необходимости единого описания гравитационных и электромагнитных волн, учитывающего постоянную Планка.

Видимо, под воздействием этого же замечания Гейзенберг поставил вопрос, не присущи ли расходимости квантовой электродинамике независимо от «проблемы электрона», т. е. не возникнут ли они и в отсутствие зарядов, если учитывать собственное гравитационное взаимодействие электромагнитных волн. Ответу на этот вопрос посвятил свою статью 1930 г. Розенфельд[48] [259]. Он рассматривал систему, состоящую из электромагнитного и (слабого) гравитационного полей, взаимодействие между которыми определяется линеаризованными уравнениями Эйнштейна и соответственно обобщенными уравнениями Максвелла. В этом приближении (полученном Эйнштейном в 1916 г.) о геометрической природе гравитации, об искривлении пространства-времени можно забыть, считая, что в плоском пространстве-времени имеются два поля — векторное и тензорное. Квантуя эти поля по Гейзенбергу—Паули, Розенфельд подтвердил предположение Гейзенберга о расходимости гравитационной энергии и описал возможные в первом приближении взаимные превращения световых и гравитационных квантов. Однако результаты, полученные Розенфельдом, имели, как подчеркивали Фок и Тамм [173, с. 317, 320], лишь формальный характер, не доходили до существенных физических выводов.

Таким было состояние квантовой гравитации, когда Бронштейн начинал свое исследование этой области. Хотя и Бронштейн в основном рассматривал слабое поле, его работа содержит также анализ, выявляющий принципиальное различие между квантовой электродинамикой и квантовой теорией гравитации без ограничения условием слабости и «негеометричности». Этот анализ показал недостаточность римановой геометрии и обычной схемы квантования поля для полной теории квантовой гравитации. При этом обнаружились границы области существенно квантово-гравитационных явлений.

б) «Отношение физических теорий друг к другу и к космологической проблеме». Аналогия между электромагнетизмом и гравитацией, возможность распространить методы квантовой электродинамики на новую область была вовсе не главной причиной, из-за которой Бронштейн обратился к квантованию гравитации. Более глубокая причина связана с общей физической картиной мира, о целостности которой Бронштейн начал размышлять рано. Напомним, что уже самые первые его работы касались квантовой и релятивистской физики: статья [1] посвящена квантовой структуре электромагнитного поля, а по статье 1926 г. [4] уже видно знание аппарата ОТО.

Популярную брошюру 1930 г. «Строение атома» Бронштейн закончил характеристикой тогдашнего состояния фундаментальной физики. Упомянув теорию Дирака, квантовую электродинамику, эддингтоновский замысел фундаментальной теории, он не забыл и гравитацию: «Задачей ближайшего будущего является также и установление связи между квантовой механикой и теорией тяготения».

Это предсказание в 1930 г. выглядело вовсе не таким очевидным, как сейчас. Многие физики даже если бы и согласились, что какую-то связь между гравитацией и квантами надо найти, вряд ли включили бы эту задачу в список главных, тем более в книге, посвященной строению атома. Потому что было трудно разглядеть явления, для изучения которых такая связь могла бы пригодиться. С другой стороны, для группы физиков с Эйнштейном во главе, стремящихся к построению единой теории поля, слова «связь гравитации с квантами» означали «выведение квантов из обобщенной теории гравитации». То, что Бронштейн так не думал, видно из энциклопедической статьи [37], раздел которой посвящен единой теории поля. Вывод этого раздела таков: «эйнштейновская программа единой теории поля, вероятно, окажется невыполнимой» и «потребуется какое-то слияние теории относительности с теорией квантов». Для Бронштейна, владевшего обеими теориями, фундаментальны обе,

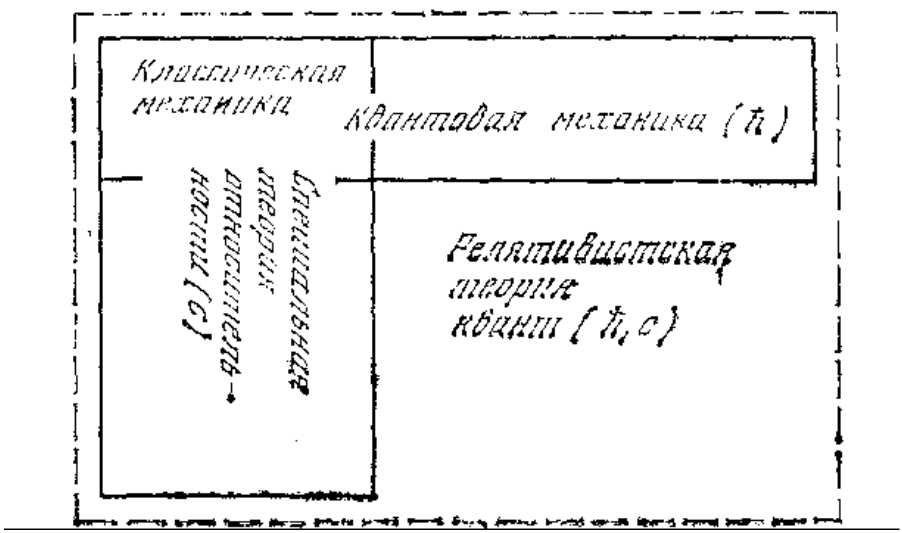
и связь между ними означает именно синтез, а не сведение или подчинение.

Популярная статья [60] (где допустимы более сильные выражения, чем в энциклопедии) кончается словами:

« Будущая физика не удержит того странного и неудовлетворительного деления, которое сделало квантовую теорию "микрофизикой" и подчинило ей атомные явления, а релятивистскую теорию тяготения "макрофизикой", управляющей не отдельными атомами, а лишь макроскопическими телами. Физика не будет делиться на микроскопическую и космическую; она должна стать и станет единой и нераздельной».

В наши дни физика элементарных частиц интенсивно взаимодействует с космологией и подобным высказыванием никого не удивишь. Но что стояло за ним в 1930 г.?

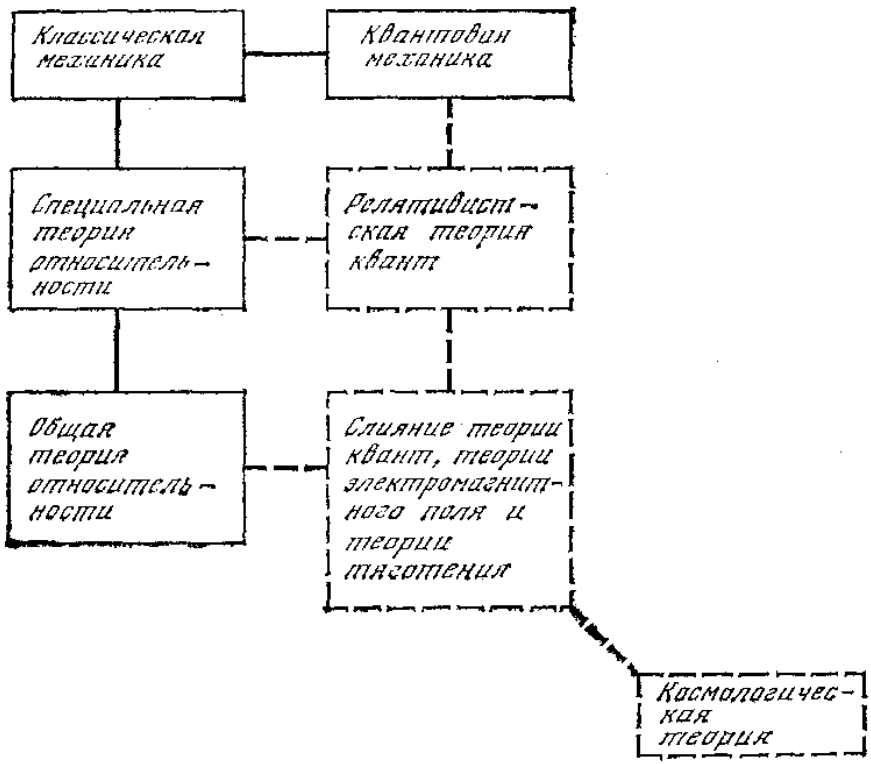
Схема 1. «Области применимости квантовой механики и специальной теории относительности пересекаются в области классической механики; пунктирным прямоугольником обозначена область применимости еще не построенной "релятивистской теории квант"» [21, с. 22]



Прежде всего за ним видны астрономические интересы Бронштейна (космология в то время в гораздо большей степени относилась к астрономии, чем к физике). Однако эти интересы важны не сами по себе.

Схема 2. Отношение физических теорий друг к другу и к космологической теории; «сплошные прямоугольники изображают существующие теории в физике, а пунктирные соответствуют еще не решенным проблемам» [21, с. 25]

Для мировосприятия Бронштейна характерно устойчивое внимание не только к физической картине мира, но также и к тому, что можно назвать картой мира физики,— теоретической физики, конечно. Свои представления об этой карте он изложил развернуто в статье 1933 г. «К вопросу о возможной теории мира как целого», в разделе «Отношение физических теорий друг к другу и к космологической теории». Судя по тому, что материал этого раздела Бронштейн впоследствии воспроизводил еще дважды [50, 81], этой теме он придавал большое значение и был к ней привязан.



Какой же видит карту физической науки Бронштейн? Прежде всего эволюционирующей. Об этой карте он рассказывает, используя все три времени: прошедшее, настоящее и будущее. Как и полагается, на карте существуют границы. Хотя охраняют их не так строго, как государственные, языки по разные стороны каждой границы различаются сильно. Обе структуры в мире теоретической физики — и «пространственная» и «временная» — определяются тремя константами: c, G и h. Упомянутые границы — это, конечно, границы применимости фундаментальных теорий, не учитывающих какие-то из универсальных констант c, G или h. А эволюция состоит в построении теорий, включающих эти

константы органически.

Объяснив предельный характер связей классической механики, квантовой механики, СТО и еще не построенной «релятивистской теории квант», Бронштейн иллюстрирует соотношение этих теорий схемой 1. Затем, после введения константы G в составе ОТО, он чертит новую, расширенную схему 2. По его словам, «в эту схему входят все вопросы, имеющие физический смысл, которые могут быть сформулированы в настоящее время, и возможно даже, что в нее входят все вообще

имеющие физический смысл вопросы» [21, с.25]. Схема показывает, что ближайшая задача — построение релятивистской квантовой теории, c/-теории. Разъяснив, почему «вопрос о значениях мировых постоянных, имеющих размерность, лишен физического смысла», Бронштейн пишет: «если теория объяснит константы, лишенные размерности, то этим ее задача будет в принципе выполнена, так как лишь от значений этих констант зависит то, почему окружающий нас внешний мир выглядит так-то, а не иначе». Затем приводится пример одной из задач c/-теории — объяснить безразмерную константу /c/e2 (постоянную тонкой структуры), что объяснило бы и заряд электрона e посредством постоянных c и h. Тогда, впрочем, это было распространенным прогнозом.

Однако в литературе тех времен не найти ничего похожего на продолжение бронштейновского прогноза:

«После того как релятивистская теория квант будет построена, задача будет заключаться в том, чтобы построить следующую часть нашей схемы, т. е. слияние квантовой теории (с ее постоянной h), специальной теории относительности (с ее постоянной c) и теории тяготения (с ее G) в одно единое целое». (Убедиться в нетривиальности cGh-схемы Бронштейна можно, сопоставив ее со статьей Паули 1936 г. [250], где ситуация в физике также рассматривается с помощью констант c, G и h.)

В качестве примера Бронштейн приводит задачу для cGh-теории — объяснить безразмерное число hc/Gme2 = 6-1044 и тем самым объяснить массу электрона те через постоянные c, G и h.

Но главную задачу для cGh-теории Бронштейн видит в космологии: «решение космологической проблемы потребует предварительного построения той единой теории электромагнетизма, тяготения и квант, которая обозначена на нашей схеме 2 вторым пунктирным прямоугольником» [21, с. 28]. (Если здесь к электромагнетизму добавить фундаментальные взаимодействия, не известные в 1933 г., то получим высказывание вполне современное.)

Такую cGh-карту теоретической физики Бронштейн

предложил в статье 1933 г. (те же самые идеи он излагал при обсуждении доклада Я. И. Френкеля «О кризисе современной физики» в ЛФТИ 26 февраля 1932 г. [291]).

Единственное изменение бронштейновской карты, которое потребовалось в дальнейшем, состояло в переходе от плоского изображения к трехмерному. Внимательно посмотрев на схему 2, можно заметить некоторую ее недостаточность. Например, на этой схеме не поместилась ньютоновская теория гравитации, а также путь от G-теории к cG-теории. Устранить эту асимметрию можно, расположив бронштейновскую схему в трехмерном «пространстве теорий» в cGh-системе координат (схема 3); это сделал А. Л. Зельманов [186]. В результате получается удобное представление фундаментальной теоретической физики (см., например, [168, гл. 8]).

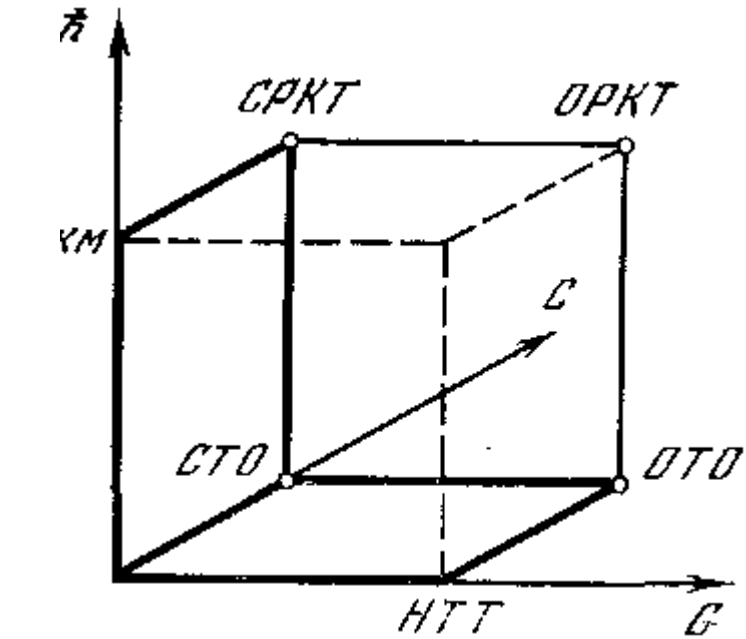


Схема 3. «Пространство» физических теорий в cGh-системе координат

НТТ — ньютоновская теория тяготения,

СТО — специальная теория

относительности, КМ — квантовая механика, ОТО — общая теория относительности,

СРКТ — специально-релятивистская квантовая теория поля,

ОРКТ — общерелятивистская квантовая теория

Была у бронштейновской cGh-схемы и предыстория. Документальное ее свидетельство — заметка Гамова, Иваненко и

Ландау 1928 г. «Мировые постоянные и предельный переход», опубликованная в ЖРФХО [156].

Заметка начинается с чисто методического, казалось бы, вопроса о построении системы единиц. Авторы отмечают, что можно двумя способами установить единицу измерения для какой-либо новой величины. Можно задать эталон для этой величины произвольно. Либо же, пользуясь каким-то законом, связывающим новую величину с уже известными и содержащим численный коэффициент, можно подобрать эталон так, чтобы этот коэффициент обратился в единицу. В первом случае получается новая мировая постоянная. Во втором — число основных (произвольных) эталонов и число мировых констант остаются неизменными: «мы получаем лишь естественную (по отношению к предыдущим) единицу для измерения нашей величины».

Можно воспользоваться вторым способом и для уменьшения числа основных единиц, положив одну из мировых констант равной единице. Авторы называют это редукцией. По их мнению, «введение новых постоянных и редукция к меньшему числу отобразились в истории физики как смена теорий и их постепенное объединение».

Для полной редукции (т. е. доведения числа эталонов до нуля) необходимо использовать столько независимых мировых констант, сколько основных единиц содержит данная система единиц. Поскольку физических констант много, а наиболее применяема в физике LMT-система размерностей, то возникает вопрос, какие три из всех констант следует выбрать. Авторы предлагают руководствоваться «двумя эвристическими положениями»: степенью общности теории, которую представляет данная константа, и пробой постоянной на предельный переход в цепочке «классическая теория — "вульгарная" [полуклассическая] теория — законченная теория».

В результате авторы за «истинные» постоянные принимают h, c-1, G и отмечают, что так, следуя Планку, можно перейти к физике без размерностей, получив «естественные» единицы для всех физических величин

Такое рассмотрение приводит авторов к единственному практическому выводу, касающемуся, правда, важной для того времени проблемы: «не имея еще теории электрона, можно, однако, на основании теории размерностей вывести некоторое заключение о характере этой теории»; так как [e] = ([h] [c])12, [m] = =([h][c][G]) , «обречены на неудачу часто производимые попытки построить теорию неквантового электрона в общей теории относительности»: если h=0, cˆ<ю, Gˆ0, то e=0 и т=0.

Мишень здесь, конечно, сам Эйнштейн и другие приверженцы единой теории поля, которые надеялись получить h-эффекты из cG-теории, более общей, чем ОТО.

Для тех, кто имеет представление об авторах этой заметки, она выглядит очень странно. Бросается в глаза явная «нерезультативность» этой публикации в научном журнале (ни одной производной, ни одного интеграла!). Если еще учесть утроенный авторский потенциал (это, кстати, единственная их совместная работа) и молодость авторов, то недоумение только возрастает. Трудно удержаться от предположения, что Ландау должен был назвать такую заметку «филологией» (самая мягкая из его отрицательных оценок). Ни у кого из троих в других работах не видно следов этой заметки.

Упоминание Планка привязывает этот текст сразу и к прошлому, и к будущему. В 1899 г. Планк ввел — с чисто метрологической целью — естественные единицы на основе констант c, G и только что появившейся h; а, как впервые обнаружилось в диссертации Бронштейна 1935 г., эти же самые план-ковские величины соответствуют квантовым границам ОТО (см. разд. 5.4).

Только Гамов, более других соавторов склонный к научно-популярному жанру, обсуждал в своих книгах константы c, G, h. Он даже дал инициалы C. G. H. своему герою мистеру Томпкинсу, банковскому клерку, заставив его интересоваться физикой [149]. Но то, как Гамов обращался с этими константами, скорее доказывает, что заметка 1928 г. (в которой c, G, h одинаково выделены) не оставила в нем глубокого следа. Он сомневался в фундаментальности G, то подозревая, что это замаскированный квадрат константы слабого взаимодействия, то легко допуская переменность G, то вообще исключая ее из числа «истинных констант» [153, с. 157]. И даже когда Гамов писал обо всех трех константах, он делал это через запятую, рассказывая в отдельности о c-, G- и h-теориях, но не о cGh-физике. Мало того, что он в угоду своей выдумке с инициалами изменил буквы c и h со строчных на прописные; он еще и без всяких колебаний — в педагогических целях — менял сами величины c, G, h, считая, что это помогает понять физику [149].

Такое вольное обращение с фундаментальными константами, по мнению Бора, было скорее глупым, чем смешным [241, с. 189]. Вряд ли этот педагогический прием нашел бы сочувствие и у Эйнштейна. Оба великих физика считали значения универсальных констант настолько существенными для устройства мироздания, что их нельзя менять без изменений или даже разрушения самого этого устройства [310, т. 4, с. 281] (речь,

разумеется, идет об изменениях безразмерных комбинаций констант; остальные просто фиктивны). Так же относился к фундаментальным константам и М. П. Бронштейн.

Как мы видим, даже в Гамове, с его «филологическими» наклонностями, не узнать автора cGh-заметки

1928 г.

Вероятно, читатель уже догадался, к чему его склоняют. Действительно, и ознакомившись с последовательными и настойчивыми cGh-построениями Бронштейна, трудно допустить его непричастность к заметке 1928 г. Можно, конечно, предположить, что идею, к которой ее авторы были довольно равнодушны, Бронштейн принял близко к сердцу, а затем ее развил, «геометризовав» в виде своей cGh-схемы. Но если помнить об устойчивом интересе Бронштейна к соотношениям теорий, о ключевых для него словах «границы применимости теории» (появившихся уже в первой его работе 1925 г.), то легче предположить другое.

В 1927 г. (заметка датирована 20.10.1927 г.) три мушкетера — Джо, Димус и Дау только что расстались с университетом, Аббат еще на положении студента. Джаз-банд в расцвете. И преданность его участников науке нисколько не препятствовала веселью и озорству. Озорным было и рождение заметки, в которую мы так пристально вглядываемся. По свидетельству А. И. Ансельма, она сочинялась во время не очень сытного, но веселого КУБУЧевского обеда в «Астории». И сочинялась ко дню рождения прекрасной дамы — И. Сокольской, также участницы Джаз-банда. При публикации посвящение исчезло. Однако и без него ясно, что заметка трех авторов не соответствовала их собственным стандартам научной работы. Хотя для физических разговоров тема была пригодна. Из устного арсенала ее, видимо, извлекли,7 когда возникла срочная надобность написать статью[49]. А в арсенал этот, где идеи очень быстро коллективизируются, она могла попасть как раз благодаря Бронштейну (который 20 октября 1927 г. обедал, возможно, не в компании своих друзей-физиков, а в обществе астрономов или филологов).

В пользу этого предположения говорит еще то, что Бронштейн, очень аккуратный в ссылках, заметку своих друзей нигде не упоминает[50].

в) У истоков квантово-релятивистской астрофизики. Герой нашей книги ожидал cGh-теорию, питаясь не только общими соображениями, воплощенными в *cC/*-схеме. Иначе он был бы только философствующим физиком. Но он был физиком практикующим. И зачатки cGh-физики находил среди конкретных физико-математических выкладок. Такие выкладки содержатся в

его работах о релятивистском обобщении принципа неопределенности (см. разд. 5.4), о свойствах излучения при очень высоких — астрофизических — температурах, о внутреннем строении звезд.

Большую статью Бронштейна 1933 г. [20] относят к основополагающим для теории белых карликов [198, с. 110]. В ней действительно физически очень ясно и внимательно рассмотрено равновесие гравитирующего шара, состоящего из вырожденного ферми-г$_9$аза в не-и ультрарелятивистском предельных случаях[51]. В этой работе также впервые получено уравнение для такой звезды в общем случае, когда степень релятивизма меняется от центра звезды к поверхности [20, с. 99]. Бронштейн отметил, однако, что решение этого уравнения связано с «утомительными вычислениями». Вычисления проделал в 1935 г. Чандрасекар [296]. Теорию белых карликов он довел до количественных результатов, полученных численным интегрированием (Чандрасекар отметил, что само уравнение он дал в предварительной заметке 1934 г. [295], однако советские астрофизики знали, что Бронштейн получил его первым [92—93]).

И все же статья Бронштейна, как и предшествующая ей заметка Ландау [214] (на которую он ссылается), были посвящены не белым карликам; в обеих статьях белые карлики не упоминаются. Уже названия статей говорят о том, что авторы видели перед собой более общую проблему — проблему физической природы звезд и механизма их излучения. Авторов-физиков звезда интересовала прежде всего как загадочный физический объект. Это, в частности, объясняет, почему Бронштейн не «пробивал» решение полученного им уравнения (для «чистого» астрофизика задача несомненно достойная).

Статью [20] Бронштейн начинает с критики теории Эддингтона за то, что она пыталась описать устройство звезды независимо от вопроса об источнике звездной энергии. Затем, следуя Ландау, он рассматривает газовый шар без всяких источников энергии при нулевой температуре. Такая звезда из классического идеального газа не может быть в равновесии и будет сжиматься, пока не начнут проявляться законы квантовой статистики. Именно так предметом рассмотрения и стало равновесие шара из вырожденного ферми-газа. Следует отметить, что результатом заметки Ландау тогда считалось вовсе не существование предельной массы для такой конфигурации

$$M_0 \sim (\hbar c/G)^{3/2} m_p^{-2} \sim M_\odot.$$

Этот замечательный результат, как указывает Бронштейн,

впервые получен Стонером в 1930 г. [266]. Однако Стонер не увидел ничего страшного в неограниченном сжатии звезды с массой больше предельной: он считал, что такое сжатие будет приводить просто к разогреву и излучению.

Ландау же, поскольку при массе, большей *M0,* «во всей квантовой теории не существует причины, которая предотвратила бы сжатие системы в точку», а с другой стороны, «в действительности такие массы мирно существуют в виде звезд», приходит к заключению, что «все звезды тяжелее, чем 1,5 M_0, содержат область, в которой нарушаются законы квантовой механики (и тем самым квантовой статистики)»; «можно с большой вероятностью предположить, что такую патологическую область имеют все звезды» и что « именно наличие таких областей и делает звезды звездами». «Следуя красивой идее проф. Нильса Бора», Ландау предлагает объяснить излучение звезд «просто» несохранением энергии в релятивистской квантовой механике: эта теория должна действовать в патологической области, когда атомные ядра придут в тесный контакт и образуется одно гигантское ядро[52].

Таким образом, самого Ландау астрофизика приводила только к проблеме сй-теории, *G* играла роль внешнего фактора, так сказать, стенок сосуда. А для Бронштейна, вполне принимавшего выводы Ландау, астрофизический материал говорил о необходимости построения cGA-теории: «Релятивистская теория квант, соединяющая волновую механику со специальным принципом относительности, должна будет подвергнуться дополнительному расширению в духе общего принципа относительности» [20, с. 102]. Такую необходимость Бронштейн поясняет простым соображением: если Солнце сожмется до ядерной плотности, то его радиус станет сравним с гравитационным.

А одним из наиболее интересных следствий указанных соображений Бронштейн назвал необходимость создания новой физической теории, применимой ко всем частям Вселенной, при этом «сами понятия пространства и времени, а следовательно и формулировка общего принципа относительности и уравнений тяготения, должны подвергнуться в этой будущей теории каким-то весьма глубоким преобразованиям» [20, с. 103]. Эти рассуждения, стоявшие за cGh-схемой [21], были конкретизированы в диссертации.

5.3. Квантовая теория слабого гравитационного поля

Результаты своей работы по квантованию гравитации Бронштейн изложил в двух статьях: краткий вариант на немецком языке — «Квантовая теория слабых гравитационных полей» — датирован августом 1935 г., подробный — «Квантование гравитационных волн» — 14 декабря 1935 г.

Большая статья (42 ЖЭТФовские страницы) совпадает с диссертацией по названию и, видимо, также и по тексту в целом. Работа состоит из трех частей. Первая, посвященная гравитационным волнам в классическом случае, служит введением для следующих двух, в которых развивается квантовая теория слабого гравитационного поля в пустоте и при наличии материи.

Исходя из данной Гейзенбергом и Паули общей схемы квантования полей, Бронштейн рассмотрел гравитацию в приближении слабого поля, когда можно не учитывать геометрический характер гравитационного поля и рассматривать его как тензорное поле в плоском пространстве-времени.

Намерение насытить диссертацию длинными формулами, о котором М. П. поведал И. К. Кикоину, осуществить было нетрудно. Работа содержит весьма громоздкие математические выкладки (при этом еще промежуточные этапы опущены). В этом обстоятельстве вполне отразилась специфика рассматриваемой проблемы.

Все дело в том, что приближение слабого поля в ОТО имеет и специальный, и в то же время достаточно общий характер — число степеней свободы максимально возможное, и десятикомпонентность гравитационного «потенциала» не укрощается ни симметриями, ни мощью римановой геометрии, потому что общая ковариантность в этом случае фактически уже не действует. Однако координатный произвол достаточно велик, и необходимо изрядно потрудиться, чтобы отделить координатные эффекты от физических.

Мы не станем вникать в техническую сторону бронштейновского квантования слабой гравитации, а отметим только некоторые характерные особенности его работы.

В классической части гравитационные волны описываются посредством четырехзначкового тензора Римана—Кристоффеля (а не посредством малой добавки к метрике Минковского, как обычно делают), что дает возможность сразу же исключить

фиктивные — координатные — гравитационные волны. Со всей отчетливостью выявляется калибровочная свобода системы (Бронштейн пользуется терминами «Eichungtransformation» и «Eichung») и тот факт, что гравитационная волна имеет две степени свободы.

В квантовой части получены два очень существенных результата. Рассчитана интенсивность излучения энергии, происходящего при испускании гравитационных квантов материальной системой, и показано, что в классическом пределе (h—0) квантовая теория гравитации дает такие же результаты, как классическая: квантовая формула Бронштейна переходит в классическую квадрупольную формулу Эйнштейна.

Затем к гравитации применена идея, которую по отношению к электродинамике высказал Дирак и развили Фок и Подольский в 1932 г. [281], получившие из квантовой электродинамики кулоновскую силу. Аналогично этому Бронштейн получил ньютоновский закон тяготения как следствие квантово-гравитационного закона взаимодействия. При этом он обращает внимание на то, что, несмотря на сходство кулоновского и ньютоновского выражений для взаимодействия поля с частицей, противоположные знаки этих сил следуют вполне естественно из общего квантово-механического формализма[53].

Оба результата, которые Бронштейн получил из рассмотрения квантованного слабого гравитационного поля,— это, казалось бы, всего лишь естественные требования принципа соответствия, и они могли только, самое большее, свидетельствовать о правильности способа квантования. Однако в действительности эти результаты имели принципиальное значение, поскольку особое положение гравитационного поля, отождествление его с геометрией пространства-времени вызывало, как уже говорилось, сомнения в необходимости синтеза квантовой теории и ОТО. Мнение о слишком особом характере гравитации, отделяющем ее пропастью от других физических полей, было довольно распространенным. Не менее известной была тогдашняя позиция Эйнштейна, считавшего, что от истинной, полной физической теории общую теорию относительности отделяет, если можно так выразиться, гораздо меньшее расстояние, чем квантовую теорию.

Исследование Бронштейна продемонстрировало глубокие связи классического и квантового (хотя и неполного) описаний гравитации и тем самым свидетельствовало о возможности и необходимости квантового обобщения ОТО.

Заметим, что термином «гравитон» Бронштейн не пользовался, хотя само это слово уже существовало. В

типографском исполнении оно имеется в статье Блохинцева и Гальперина 1934 г. в журнале «Под знаменем марксизма» [111], и, судя по тексту, нет оснований думать, что термин родился здесь; видимо, он существовал уже по меньшей мере в устном виде. Эта статья, упоминавшаяся в главе 4, имела совсем не гравитационное название «Гипотеза нейтрино и закон сохранения энергии» и была написана, когда теория бета-распада, построенная Ферми на основе гипотезы нейтрино, пользовалась уже широким признанием. Однако последний раздел этой статьи «Природа нейтрино» содержит соображения, очень любопытные для *cGh*-истории, и мы их приведем полностью, несмотря на большой объем цитаты.

«Взаимодействие заряженных частиц (закон Кулона) с современной точки зрения [ссылка на статью Дирака 1932 г.] рассматривается *динамически,* а именно как результат непрерывного испускания и поглощения квантов света взаимодействующими частицами. (...)

Весьма интересно сравнение свойств нейтрино и так называемого *гравитона.* До сих пор известные в физике поля распадаются на два класса: *электромагнитные* и *гравитационные.* (...)

Все многочисленные попытки, в первую очередь самого Эйнштейна, найти связь между электромагнитными явлениями и явлениями гравитационными, начиная с попытки гениального М. Фарадея, кончались неудачей и заводили в дебри формализма. (...)

Но излучение электронных [электромагнитных?] волн не единственная причина нестабильности атома. Благодаря излучению гравитационных волн движущимся электроном атома, аналогичным планете в Солнечной системе, атом также будет терять энергию. Поэтому, чтобы понять стабильность атомов, нужно предположить, что не только электромагнитная энергия, но и энергия гравитационная излучаются не в виде волн, но квантами энергии: в первом случае — квантами электромагнитной энергии — квантами света (фотонами), во втором случае — квантами энергии тяготения — «гравитонами». Гравитоны, однако, не имели никакого значения в современной квантовой теории атома ввиду того, что вероятность их излучения, как можно посчитать, ничтожно мала в сравнении с вероятностью излучения светового кванта. Равным образом малы и гравитационные взаимодействия по сравнению с взаимодействиями электромагнитными. Излучение и поглощение гравитонов должны были бы вести к взаимодействию частиц по закону Ньютона (к гравитационному полю), подобно тому, как

поглощение и излучение квант света заряженными частицами ведет к закону Кулона. Эти гравитоны должны, подобно квантам света, обладать массой только в состоянии движения со скоростью света. Они, разумеется, не несут электрического заряда. С этой точки зрения они крайне схожи с введенными Ферми нейтрино. Тот факт, что вероятность излучения гравитона крайне мала по сравнению с вероятностью излучения фотона, имеет значение только для заряженных частиц. Незаряженная частица, какой является нейтрон, вообще не может излучать квант света, и излучение гравитонов может для него иметь существенное значение. Бета-распад как раз является таким процессом, в котором мы и имеем дело с квантовым переходом нейтрона. Приведенное выше сравнение свойств гравитона со свойствами нейтрино, обнаруживающее их сходство, может быть, свидетельствует о том, что, вообще говоря, маловероятный процесс излучения гравитонов становится практически наблюдаемым при бета-распаде. Если бы нейтрино действительно были гравитонами, это означало бы, что современная физика подошла к ликвидации все еще существующей непроходимой грани между гравитацией и электромагнетизмом.

Тем не менее все же трудно, по теоретическим соображениям, отождествить гравитоны с нейтрино, так как трудно допустить, что гравитоны имеют спин, равный 54, каким обладает нейтрино. В этом отношении гравитон более схож с квантом света, нежели с нейтрино. Но нельзя не [?] считать, что возможность их отождествления совершенно исключена теорией. Пока все же более правильно рассматривать нейтрино как самостоятельный сорт частиц».

Приведенный текст производит довольно странное впечатление. С одной стороны, многое в нем похоже на предвосхищение результатов Бронштейна. С другой, помимо неточностей и некоторой легковесности, в глаза бросается «несамосогласованность» текста, как будто его авторы имеют свое мнение, но не согласны с ним.

Для приоритетных подозрений оснований, однако, мало в силу следующих обстоятельств. Статья в журнале «Под знаменем марксизма» имела популяризаторский и методологический характер, и ее авторам явно интереснее описывать научную ситуацию, чем пунктуально расставлять ссылки; в частности, уже знакомое нам замечание Эйнштейна 1916 г. пересказано анонимно. Совершенно незаметны какие-либо *cGh*-интересы авторов в те годы; Д. И. Блохинцев занимался тогда физикой твердого тела, а не квантовой теорией поля или гравитацией [109]. Блохинцев был учеником и сотрудником И. Е. Тамма —

одного из оппонентов бронштейновской диссертации; и трудно представить, чтобы Тамм умолчал о предшествующих идеях, если бы они действительно принадлежали его ученику, а не Бронштейну. Дополнительное свидетельство того, что квантово-гравитационные идеи не были родными для Блохинцева и Гальперина,— полное отсутствие какихлибо упоминаний о гравитации в их статье 1936 г. «Атомистика в современной физике» [112], хотя поводов сказать о квантах гравитации в ней более чем достаточно (и когда Блохинцев вернулся — в 50-е годы — к вопросу о связи гравитации с физикой элементарных частиц, его отношение к такой связи было весьма скептическим). По всем этим причинам легче предположить, что в статье Блохинцева и Гальперина 1934 г. излагаются какие-то устные дискуссии с участием Бронштейна. А если так, то, значит, его диссертационная работа, выполненная летом 1935 г., была завершением и оформлением более ранних идей.

Идея о связи гравитации и нейтрино, о которой говорится в статье Блохинцева и Гальперина, была не так уж экзотична. По свидетельству Гамова, «Нильс Бор еще в 1933 г. задавал вопрос: в чем разница между нейтрино и квантами гравитационных волн?», и сам Гамов считал «связь между нейтрино и гравитацией волнующей теоретической возможностью» [152, с. 143][54].

Отзвук того же вопроса Бора можно усмотреть и в книге его ученика Дж. Уилера «Гравитация, нейтрино и Вселенная» [273].

Идея о родстве нейтрино и гравитации не вызывала никакого сочувствия у Бронштейна [41],— для такого родства тогда не было никаких глубоких причин. Во всяком случае их не видно в cGh-системе отсчета, в которой Бронштейн рассматривал фундаментальные теории физики. Нет таких причин и сейчас; нет оснований говорить, что гравитация находится в большем родстве со слабым взаимодействием, чем с электромагнитным.

Только в пунктирном cGh-прямоугольнике на бронштейновской схеме было место для нейтрино. Таково же мнение на этот счет и современной физики, ожидающей Великого объединения взаимодействий.

А что касается бронштейновских результатов по квантовой теории слабого гравитационного поля, то их значение не зависит от судьбы единой теории. На защите диссертации Фок сказал: «В рассмотренном М. П. приближении сомневаться нельзя. Если даже будет неверной теория Эйнштейна, то результаты М. П. не изменятся» [173, с. 319] (корявость слога здесь можно отнести на счет стенографии; Фок, видимо, говорил о квантовой ограниченности ОТО). Действительно, результаты Бронштейна сохраняют свое значение и сейчас, поскольку навсегда сохранит

свое значение вопрос соотношения фундаментальных теорий гравитации и областей их применимости.

На определенных этапах развития физики возникает потребность в обобщении данной фундаментальной теории. Гравитация в XVII в. получила G-теорию, в 1915 г. — cG-теорию, а сейчас все еще ожидает полную, последовательную cGh-теорию. Но слово «обобщение» в теоретической физике имеет специфический смысл. Развитие теории включает в себя и обобщение и специализацию, возрастающую гибкость (общность) отдельных компонентов теории и возрастающую жесткость (однозначность) конструкции теории в целом. Обобщение происходит по отношению к количественным предсказаниям в конкретных задачах, а по отношению к структуре теории принцип соответствия действует непросто. Теоретическая физика — это иерархия моделей, относящихся друг к другу более сложно, чем частный случай к общему; соотношение фундаментальных теорий имеет предельный характер (как в случае *G*- , *cG*- и *cGh*-теорий гравитации). При этом «устаревшие» модели, как правило, не утрачивают практического значения и остаются в арсенале физики.

Поэтому результаты Бронштейна, относящиеся к приближению слабой квантовой гравитации, сохранят свой смысл и значение и в будущем. Не следует думать, что такая оценка лишь проявление сверхбережного отношения историка к правильным физическим результатам. Например, с тех пор как была построена квантовая теория слабой гравитации, проделано большое количество расчетов в рамках, так сказать, квантовой гравидинамики: рассчитывались разнообразные реакции элементарных частиц с участием гравитонов. Но правильность подобных — сложных математически — расчетов отнюдь не делает их физически осмысленными (даже если не говорить о неперенормируемости линейной квантовой гравидинамики). Дело в том, что результат любого подобного расчета должен содержать безразмерный множитель типа 10^{-} и не может иметь ощутимую величину в условиях применимости самой теории. Ощутимыми и даже принципиально важными квантово-гравитационные эффекты могли бы стать при больших концентрациях энергии (которые бы скомпенсировали число 10^{-40}), т. е. в астрофизических и космологических условиях, однако в таких условиях уже неприменима сама линейная квантовая гравидинамика. Слабость гравитационного взаимодействия могла бы еще компенсироваться достаточно большим — космологическим — временем взаимодействия; такую ситуацию Бронштейн рассмотрел год спустя (см. разд. 5.5).

5.4. «…Принципиальное различие между квантовой электродинамикой и квантовой теорией гравитационного поля». Квантово-гравитационные границы

Рассказ предыдущего раздела о квантово-гравитационных результатах Бронштейна в некоторой мере искажает историко-научную ситуацию, потому что там рассказано лишь о решении задач, относящихся к переходам «сверху вниз» — символически: (cGh)—-(cG) и (cGh)—(G). А этим задачам в работе Бронштейна предшествует анализ измеримости гравитационного поля, касающийся переходов «снизу вверх»: (cG)— —(cGh) и ^^—^Gh). Этот анализ, приведший к обнаружению квантово-гравитационных границ, особенно интересен для сегодняшней теоретической физики.

а) Проблема ch-измеримости. То что Бронштейн, занявшись квантованием гравитации, уделил внимание вопросу измеримости, вполне естественно и для биографии науки, и для научной биографии Бронштейна. История этого вопроса начинается с принципа неопределенности (1927), который установил h-ограничения на применимость понятий, оставшихся от классической физики. Соотношения неопределенностей ограничивали только совместную измеримость некоторых —

сопряженных — пар величин, например координаты и импульса

$$\Delta x \Delta p \geqslant \hbar,$$

но оставалась возможность говорить о сколь угодно точном значении каждой величины в отдельности.

Сразу после того, как был осознан смысл h-ограничений, возник вопрос о характере квантовых ограничений при учете релятивизма — о c/-ограничениях. Мысленные эксперименты (начиная с гейзенберговского микроскопа) давали сколь угодно точные результаты, лишь игнорируя с-теорию. И, кроме того, важнейший физический объект — электромагнитное поле — был релятивистским, как известно, еще до создания теории относительности; ведь уравнения Максвелла включают в себя константу с. Ограничения измеримости, или соотношения неопределенностей, для электромагнитного поля рассматривали сам Гейзенберг [158, с. 41], Фок и Йордан [280].

Однако особенно большое внимание привлекло к себе

исследование с/-ограничений, выполненное Ландау и Пайерлсом в 1931 г. Анализ мысленных экспериментов в с/-области приводил уже не только к парным, но и к индивидуальным неопределенностям величин, описывающих частицу и поле. Согласно Ландау и Пайерлсу понятие «поле в точке» полностью неопределимо. На этом основании они ставили под вопрос тогдашнюю квантовую теорию электромагнитного поля и предсказывали, что «в правильной релятивистской квантовой теории, которая пока не существует, не будет ни физических величин, ни измерений в смысле волновой механики» [221, с. 69].

Этот прогноз вполне соответствовал другим вопиющим указаниям на принципиальную недостаточность тогдашней физики (±-трудность уравнения Дирака, парадокс Клейна, расходимость собственной энергии и др.) В начале 30-х годов в неизбежной с/-перестройке понятий (включая понятие пространства-времени) были уверены многие теоретики, и анализ измеримости поля был наиболее фундаментальным доводом.

Ландау и Пайерлс считали свою работу развитием идей Бора и теоретическим обоснованием его гипотезы о несохранении энергии. Однако сам Бор столь решительный вывод не принял, и в 1933 г. «обезвредил» его (совместно с Розенфельдом) после упорных дискуссий с Ландау и Пайерлсом. Слабое место в их рассуждениях Бор усмотрел в том, что они для измерения поля использовали в качестве пробных тел только точечные заряды — идеализацию, перенесенную в теорию поля из теории атома. Однако «для проверки аппарата квантовой электродинамики,— подчеркнул Бор,— допустимы лишь измерения с пробными телами конечных размеров, внутри которых распределен заряд; это следует из того, что всякое однозначным образом вытекающее из этого аппарата утверждение относится к средним значениям компонент поля, взятым по конечным областям пространства-времени» [121, с. 128]. Это положение Бор связывал с тем, что аппарат квантовой электродинамики не включает в себя органически каких-либо предположений об атомизме электричества. А если в мысленных измерениях пользоваться полным произволом в отношении заряда пробного тела, то указанные Ландау и Пайерлсом пределы действительно снимаются.

Характер с/-теории занимал Бронштейна с тех пор, как ее «призрак начал бродить» по физике. И соображения, связанные с наблюдаемостью, с измеримостью физических величин играли значительную роль. В 1931 г. в рецензии на книгу Дирака, упрекая того в недооценке квантово-релятивистских проблем, Бронштейн цитирует ехидное определение Паули, прозвучавшее,

видимо, на Одесском съезде 1930 г.: «Die Observable ist eine Grosse, die man nicht messen kann» («Наблюдаемая — это величина, которую невозможно измерить»); в формулировке Бронштейна: «принцип неопределенности обычной квантовой механики чересчур определен для релятивистской теории квантов».

На работу Бора—Розенфельда Бронштейн откликнулся заметкой, посвященной измеримости в с/-области [24]. Надо сказать, что весьма объемную статью Бора—Розенфельда не назовешь очень ясной. Заметка Бронштейна раз в 20 короче. И ее выкладки лучше соответствуют ориентировочному характеру мысленных экспериментов, чем хитроумные рассуждения [121], в которых вместе с мысленными пружинками и массивными каркасами участвуют произвольно большие заряды в произвольно малых объемах (природе не известные).

При этом Бронштейн в ясной форме воспроизвел боровский вывод о несмертельном характере с/-ограничений для теории поля.

Проведем упрощенные выкладки, измеряя напряженность электромагнитного поля E по изменению импульса пробного тела с зарядом Q и массой M:

$$E = \frac{p(t+\Delta t) - p(t)}{Q\Delta t}.$$

Неопределенность AE составляют два слагаемых. Первое порождается неопределенностью измерения импульса:

$$\Delta E_1 \sim \frac{\Delta p}{Q\Delta t} \sim \frac{c\Delta p}{Q\Delta x}.$$

$$\Delta v_{\text{отд}} = \frac{\Delta p}{M} \sim \frac{\hbar}{M\Delta x},$$

и «обратное» поле

$$\Delta E_2 \sim \frac{i}{c\Delta x^2} = \frac{Q\Delta v}{c\Delta x^2} = \frac{Q\Delta p}{Mc\Delta x^2} \sim \frac{Q\hbar}{Mc\Delta x^3}.$$

Вводя плотности заряда и массы пробного тела $\rho \sim Q/\Delta x^3$, $\mu \sim M/\Delta x^3$ (объем тела $V \sim \Delta x^3$) и учитывая, что $\Delta p \sim \hbar/\Delta x$, получим

$$\Delta E = \Delta E_1 + \Delta E_2 \sim \frac{c\hbar}{\rho\Delta x^5} + \frac{\rho\hbar}{\mu c\Delta x^3}.$$

Второе слагаемое — это «обратное» поле, источником которого является ток — произведение заряда пробного тела на его скорость. Неопределенность этой скорости (скорости отдачи), соответствующая локализации пробного тела с неопределенностью Ах, равна

Устремляя Ах к нулю и полагая, что р и ц достаточно быстро, но по разным законам стремятся к бесконечности, можно считать, что АЕ—0 при Ах—0. Тем самым оправдывается понятие «электромагнитное поле в точке».

Бор особенно подчеркивал, что неопределенность поля, обусловленная влиянием самого пробного заряда, может быть сделана, вопреки Ландау—Пайерлсу, сколь угодно малой, а Бронштейн указал, что для максимальной точности измерения поля не следует стремиться к наименьшей реакции излучения на пробное тело. И хотя общий вывод остался прежним, Бронштейн подчеркнул, что возможности теории когда-нибудь придется согласовать с возможностями природы: «Принципиальная невозможность измерить с произвольной точностью поле в будущей релятивистской теории квант будет связана с принципиальным атомизмом материи, т. е. с принципиальной невозможностью беспредельно увеличивать [плотность заряда] р».

Таким образом, в заметке 1934 г. Бронштейн сбалансированно представил с/-ограничения на измеримость электромагнитного поля. Поэтому не удивительно, что год спустя он обратился к анализу измеримости гравитационного поля.

b) cGh-измеримость и квантовые границы ОТО. Проследим за этим анализом внимательно, вместе с Бронштейном «немного мысленно поэкспериментируем!» (так называется параграф в [30]). Напомним сначала, что в приближении слабого гравитационного поля метрический тензор gik представляется в виде

$$g_{ik} = \delta_{ik} + h_{ik},$$

где 8ik — плоская метрика Минковского, а все величины hik«1. В этом случае, как показал еще Эйнштейн в 1916 г., общие нелинейные уравнения ОТО сводятся к линейным (с точностью до членов высшего порядка малости по hik):

$$\Box h_{ik} = \varkappa \left(T_{ik} - {}^{1}/_{2} \delta_{ik} T \right), \qquad (1)$$

где Tik— тензор энергии-импульса, а к = 16л£т/с2.

Сконструировав подходящий для этого случая гамильтониан гравитационного поля, Бронштейн выписывает перестановочные соотношения в соответствии с общей схемой квантования полей Гейзенберга и Паули 1929 г.

Однако, прежде чем перейти к построению квантовой картины слабого гравитационного поля, Бронштейн обращается к вопросу, касающемуся синтеза квантовых и гравитационных представлений в общем случае, а не только в случае слабого поля. После краткого обсуждения перестановочных соотношений он пишет:

«Можно было бы думать, что здесь, как и в квантовой электродинамике, получается вполне последовательная квантово-механическая схема, содержащая величины, которые, правда, не всегда могут быть измеряемы с произвольно задаваемой точностью одновременно, но каждая из них может быть сколь угодно точно измерена в отдельности. ...Чтобы понять природу тех физических условий, которые могут сделать это утверждение недействительным, рассмотрим в качестве переходит в уравнение

простейшего примера измерение величины [00, 1], т. е.

$$\frac{d^2x}{c^2dt^2} = \Gamma_{1,00} = \frac{\partial h_{01}}{c\partial t} - \frac{1}{2}\frac{\partial h_{00}}{\partial x}; \qquad (2)$$

$$\frac{d^2x^1}{ds^2} + \Gamma^1_{ik}\frac{dx^i}{ds}\frac{dx^k}{ds} = 0$$

здесь и далее x=x , Г100 — современное обозначение символа Кристоффеля [00,1].

Для измерения значения Г100, среднего по объему V и за промежуток времени T (а согласно Бору—Розенфельду в квантовой теории поля следует говорить только о такого рода измерениях), надо измерить компоненту px импульса пробного тела, имеющего объем V, в начале и в конце промежутка времени T, поскольку в рассматриваемом приближении

$$\Gamma_{1,00} = \frac{d^2x}{c^2dt^2} = \frac{p_x(t+T) - p_x(t)}{c^2\rho VT},$$

где p — плотность пробного тела. Поэтому если измерение импульса имеет неопределенность Δpx, то неопределенность

$$\Delta\Gamma_{1,00} \sim \Delta p_x/c^2\rho VT. \qquad (3)$$

Неопределенность импульса px состоит из двух слагаемых: обычного квантово-механического

$$(\Delta p_x)_1 = \hbar/\Delta x$$

(где Ах — неопределенность в координате) и «члена, связанного с полем тяготения, создаваемого самим измерительным прибором вследствие отдачи при измерении импульса». Второе слагаемое Бронштейн оценивает следующим образом. Уравнение (1) с учетом используемого приближения дает

$$\Box h_{01} = \varkappa T_{01} = \varkappa \rho v_x / c.$$

Если на отдельное измерение импульса затрачивается время At (при этом должно быть At< <T), то неопреде

ленность величины h01 , связанная с неопределенностью скорости отдачи vx~Ax/At, имеет порядок

$$\Delta h_{01} \sim \varkappa \rho \frac{\Delta x}{c\Delta t} (c\Delta t)^2 = \varkappa c \rho \Delta x \Delta t,$$

и согласно (2) неопределенность напряженности гравитационного поля

Соответствующая неопределенность импульса, связанная с собственным гравитационным полем пробного тела, имеет тогда порядок

$$\Delta\Gamma_{1,00} \sim \varkappa \rho \Delta x.$$

Тогда

$$(\Delta p_x)_2 \sim c^2 \rho V \Delta\Gamma_{1,00} \cdot \Delta t = c^2 \varkappa \rho^2 V \Delta x \Delta t.$$

$$(\Delta p_x)_{\min} \sim (\hbar \varkappa c^2 \rho^2 V \Delta t)^{1/2},$$

$$(\Delta\Gamma_{1,00})_{\min} \sim \frac{1}{c^2 T} \left(\frac{\hbar \varkappa c^2 \Delta t}{V}\right)^{1/2}. \quad (6)$$

Продолжительность измерения импульса At ограничивается снизу двумя условиями. Во-первых, должно быть At > Ax/c, чтобы

скорость отдачи, вызванной изменением импульса, была меньше скорости света. Отсюда и из (5) следует

$$\Delta t > \tau_1 = (\hbar/\varkappa c^4 \rho^2 V)^{1/4}. \qquad (7)$$

Во-вторых, из самого смысла измерения поля в объеме V следует, что величина Ах должна быть меньше размеров пробного тела: Ах < V13. Учитывая (5), получим

$$\Delta t > \tau_2 = \hbar/c^2 \varkappa \rho^2 V^{5/3}. \qquad (8)$$

Получив эти две нижние границы для At, Бронштейн отмечает, что отношение первой из них ко второй

$$\frac{\tau_1}{\tau_2} = \left(\frac{c\varkappa\rho^2 V^2}{\hbar}\right)^{2/3} \equiv \left(\frac{c\varkappa m^2}{\hbar}\right)^{2/3} \qquad (9)$$

«зависит от массы пробного тела, будучи совершенно ничтожной величиной в случае электрона и становясь величиной порядка 1 в случае пылинки, весящей сотую долю миллиграмма». Для неопределенности AT1j00 получаются соответственно две границы

$$(\Delta\Gamma_{1,00})_{\min 1} \geqslant \frac{1}{c^2 T}\left(\frac{\hbar^2 \varkappa c}{\rho V^2}\right)^{1/3}, \qquad (10)$$

$$(\Delta\Gamma_{1,00})_{\min 2} \geqslant \frac{\hbar}{c^2 T \rho V^{4/3}}. \qquad (11)$$

Поскольку, как видно отсюда, для возможно более точного измерения Г1,00 в данном объеме V следует применять пробные тела возможно большей массы (плотности), то существенной становится только первая граница.

Бронштейн указывает, что предыдущие рассуждения аналогичны соответствующим рассуждениям в квантовой электродинамике (при этом ссылается на свою заметку 1934 г.) и пишет: «Но на этом месте приходится принять во внимание обстоятельство, из которого обнаруживается принципиальное различие между квантовой электродинамикой и квантовой теорией гравитационного поля. Различие это заключается в том, что в формальной квантовой электродинамике, не учитывающей структуры элементарного заряда, нет никаких принципиальных причин, ограничивающих увеличение плотности р. При

достаточно большой плотности заряда пробного тела точность измерения компонент электрического поля может быть сделана какой угодно. В природе, вероятно, существуют принципиальные ограничения плотности электрического заряда (не больше одного элементарного заряда на объем с линейными размерами порядка классического электронного радиуса), однако эти ограничения не учитываются формальной квантовой электродинамикой... Не то — в квантовой теории гравитационного поля: она должна считаться с ограничением, вытекающим из того, что гравитационный радиус пробного тела (KpV) не может превосходить его действительных линейных размеров

$$\varkappa \rho V < V^{1/3}». \tag{12}$$

Если это учесть, то (10) дает «абсолютный минимум неопределенности»

$$\Delta\Gamma_{1,00} > \frac{1}{c^2 T}\left(\frac{\hbar^2 \varkappa^2 c}{V^{1/3}}\right)^{1/3}.$$

Конечно, этот «абсолютный предел вычислен очень грубо, потому что при достаточно большой массе измерительного прибора начнут, вероятно, играть роль отступления от принципа суперпозиции...»; однако Бронштейн считает, что «аналогичный результат сохранится и в более точной теории, так как он нисколько сам по себе не вытекает из принципа суперпозиции, а соответствует лишь тому факту, что в общей теории относительности не может существовать тел сколь угодно большой массы при заданном объеме. В электродинамике нет никакой аналогии этому факту... вот почему квантовая электродинамика возможна без внутренних противоречий». Указав, что в теории гравитации «это внутреннее противоречие никак не может быть обойдено», Бронштейн пришел к выводу:

«В области общей теории относительности, где отклонения от "евклидовости" могут быть сколь угодно велики... возможности измерения еще более ограничены, чем можно заключить из квантово-механических перестановочных соотношений» и «без глубокой переработки классических понятий кажется едва ли возможным распространить квантовую теорию гравитации также и на эту область» [30, с. 276] .

Именно так впервые были обнаружены границы применимости общей теории относительности — неквантовой

релятивистской теории гравитации.

Само существование таких границ предвиделось и раньше — вспомним замечание Эйнштейна 1916 г. о том, что квантовая теория должна модифицировать теорию гравитации, неудовлетворенность Эйнштейна тем, что «линейки и часы», используемые в построении ОТО, рассматривались безо всякого учета их микроскопического строения, упоминавшееся замечание Клейна 1927 г. Однако все такие соображения имели логический или методологический характер. Бронштейновский анализ проведен на физическом, количественном языке.

в) Планковские масштабы в cGh-физике. Нынешнему читателю в этом анализе не хватает только так называемых планковских величин, которые в наши дни появляются во всяком обсуждении квантовых границ ОТО. Эти величины представляют собой комбинации из фундаментальных констант c, G и h вида

$$X_{\text{пл}} = c^{\alpha} G^{\beta} \hbar^{\gamma}$$

и могут иметь любые размерности (длины, времени, плотности и т. д.). Именно планковские величины сопоставляются границам ОТО, обусловленным необходимостью ее квантового обобщения.

При этом аргументы, приводимые в обоснование, весьма различны — от эскизов будущей теории квантовой гравитации до соображений размерности. А так как последние не требуют каких-либо сложных построений, можно предположить, что квантово-гравитационная роль планковских величин была известна очень давно, чуть ли не самому Планку [124—125].

$$\begin{aligned} l_{\text{пл}} &= (\hbar G/c^3)^{1/2} = 1{,}6 \cdot 10^{-33} \text{ см}, \\ m_{\text{пл}} &= (\hbar c/G)^{1/2} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ г}, \\ t_{\text{пл}} &= (\hbar G/c^5)^{1/2} = 5 \cdot 10^{-44} \text{ с} \end{aligned} \qquad (13)$$

(использованы современные обозначения и величины констант). Выпишем еще выражение для планковской плотности

$$\rho_{\text{пл}} = c^5/\hbar G^2 = 5 \cdot 10^{93} \text{ г/см}^3,$$

Однако в действительности эти величины Планк ввел, безо всякой связи с квантовой гравитацией, в 1899 году, когда еще не было и самой квантовой теории. Он предложил «естественные единицы измерения», которые «обязательно сохраняли бы свое значение для всех времен и для всех культур, в том числе и

внеземных и нечеловеческих» [254, с. 232]:

определяющей квантово-гравитационную эпоху в космологии.

В явном виде на квантово-гравитационное значение планковских величин было указано лишь в середине 50-х годов почти одновременно несколькими физиками — О. Клейном, Л. Д. Ландау, В. Паули и Дж. Уилером (об истории планковских величин см. [168, гл. 5]). Однако неявно такие величины есть, конечно, уже у Бронштейна, поскольку в его анализ вовлечены все три константы: c, G и h. Его рассуждения легко дополнить так, чтобы планковские величины возникли и явным образом. Собственно, одна такая величина — планковская масса — появилась уже в тексте Бронштейна. Это та самая «пылинка, весящая сотую долю миллиграмма», для которой неопределенности (7) и (8) имеют одинаковый порядок (в статье [30] выписано даже явное выражение для планковской массы).

$$\rho = \varkappa^{-1} V^{-2/3}.$$

Тогда границы (7), (8) превращаются в

$$\Delta t > \tau_1 = (c^{-4} \varkappa \hbar V^{-1/3})^{1/2}, \tag{7a}$$

$$\Delta t > \tau_2 = c^{-2} \varkappa \hbar V^{-1/3}. \tag{8a}$$

Чтобы планковские величины «проявились», можно рассуждать так. Будем стремиться измерять гравитационное поле не только с наименьшей неопределенностью, но и в наименьшем возможном объеме, стремясь определить «поле в данной точке». Тогда уже придется рассматривать обе границы (7), (8), а не только первую из них. Для уменьшения неопределенности Г100 надо использовать максимальную возможную плотность пробного тела; в силу (12) это

$$\tau_1 = \tau_2 = (c^{-3} \varkappa \hbar)^{1/2} = t_{\text{пл}}.$$

При этом соответствующие размеры пробного тела

$$l = V^{1/3} = (c^{-1} \varkappa \hbar)^{1/2} = l_{\text{пл}},$$

и, наконец, минимальная неопределенность напряженности гравитационного поля Г

$$(\Delta \Gamma)_{\min} = 1/cT.$$

По самому смыслу измерения напряженности, усредненной за промежуток времени Т, должно выполняться условие $\Delta t < T$.

Поэтому при данном Т следует стремиться к наименьшему возможному At. Так как т1 уменьшается с уменьшением V, а т2 растет, минимальное значение наибольшей из величин т1, т2 достигается при т1 = т2. Тогда

Если же мы учтем, что неопределенность в измерении гравитационного поля следует оценивать по суммарному воздействию на пробное тело — работе напряженнос1т/и3 на расстоянии порядка размеров тела Ag = Ar-V13 (эта же величина описывает неопределенность метрики), то получим

$$\Delta g = l_{\text{пл}}/cT.$$

Таким образом, область применимости классической теории гравитации и пространства-времени ограничивается действительно планковскими величинами.

Чтобы получить планковские масштабы для квантово-гравитационных явлений, не обязательно привлекать анализ измеримости, как Бронштейн в 1935 г., или фейнмановский интеграл, как Уилер в 1955 г. Достаточно простейшим способом ввести в рассмотрение константы c, G и h. Можно это сделать уже на уровне физики 1913 г. Рассмотрим две точечные частицы массы М, связанные гравитационным взаимодействием и движущиеся по круговой орбите радиуса R. Подчиним эту систему классической механике Ma = Mv2/R— = GM2/(2R)2 и квантовому постулату Бора 2MvR = nh, n = 1, 2,... Чтобы выяснить, при каких значениях параметров Ми R описание системы должно существенно учитывать квантово-релятивистские эффекты, нужно положить, что п достаточно близко к единице и скорость v достаточно близка к скорости света с. Тогда легко получить, что квантово-гравитационной области соответствует одновременная близость М и R к планковским значениям. Однако при этом глубокий пространственно-временной смысл cGh-границ остается, конечно, незаметным.

г) Восприятие квантово-гравитационных границ. Если бы даже в 30-е годы были известны планковские характеристики квантово-гравитационных границ, решиться т-3о3гда гово-р5ить о н1и9х было нелегко. Ведь величины 10-33 см и 10-5 г (=1019 ГэВ) фантастически далеки от насущных для физики того времени величин ядерных масштабов 10-13 см и 1 ГэВ.

Вот что писал в 1930 г. Гейзенберг: «Часто высказывается надежда, что квантовая теория после разрешения только что названных проблем [связанных с релятивистской формулировкой квантовой теории], может быть, снова будет в значительной степени сведена к классическим понятиям. Но даже поверхностный взгляд на развитие физики за последние тридцать

лет показывает нам, что скорее, наоборот, можно ожидать еще более широких ограничений классического мира понятий. В добавление к изменениям нашего обыкновенного пространственно-временного мира, которые были потребованы теорией относительности и для которых характерна постоянная c, и к соотношениям неопределенности квантовой теории, символом которых может служить планковская постоянная h, появятся еще другие ограничения, стоящие в связи с универсальными постоянными e, ц [масса электрона], M (масса протона)» [158, с. 79].

Это высказывание вполне отражало общественное мнение в физике 30-х годов. Если же в прогнозе Гейзенберга вместо e, ц, M подставить G, то это едва ли нашло бы сочувствие у кого-нибудь в те годы. В частности, потому, что тогда не было идей,-3к3оторые мо-1г3ли хотя бы эскизно соединить величины 10-33 см и 10-13 см (такие идеи появились только совсем недавно [262]). Но, как следует из бронштейновского анализа и в соответствии с общим взглядом на теоретическую физику через магический cGh-куб (см. разд. 5.3), для замены набора c, h, e, ц, M на c, G, h основания были.

Видя эти основания и доверяя своему зрению, Бронштейн в подробном изложении своей работы [31] уточнил, глубокая переработка каких понятий потребуется в полной квантовой теории гравитации:

«Устранение связанных с этим [с принципиально ограниченной измеримостью гравитационно-геометрических величин] логических противоречий требует радикальной перестройки теории и, в частности, отказа от римановой геометрии, оперирующей, как мы здесь видим, принципиально не [55] наблюдаемыми величинами — а может быть, и отказа от обычных представлений о пространстве и времени и замены их какими-то гораздо более глубокими и лишенными наглядности понятиями. Wer's nicht glaubt, bezahlt einen Taler».

Пафос фундаментального вывода уравновешивается немецкой фразой, весьма необычной для ЖЭТФа. Этой фразой («Кто не верит, тот платит талер») кончается и сказка братьев Гримм «Про умного портняжку», в которой говорится о совершенно невероятных (даже по сказочным стандартам) деяниях портняжки, который «был человек на вид неказистый и порядочный растяпа, да и в ремесле своем не искусник». В художественном переводе фраза звучит так: «А кто сказке моей не верит, пусть талер дает живей!» [175, с. 334].

Появление немецкой поговорки на страницах ЖЭТФа может сказать нам кое-что о самом Бронштейне — о его эмоциональной

интеллектуальности, органичной самоиронии, независимости (разве положено последовательность выкладок завершать поговоркой?).

Но в этом расширении обычного словаря теоретика можно усмотреть и тогдашнее умонастроение его коллег.

Теоретики уже успели привыкнуть к прорицаниям, грозящим революцией пространству-времени. И, как бывает с предсказаниями, которые не спешат сбываться, они уже надоели. В 1935 г. ожидание фундаментальных перемен не сковывало теоретиков, как в начале 30-х. Экспериментальные открытия (нейтрон, позитрон) и теория Ферми (узаконившая нейтрино) дали физике микромира обширное поле деятельности. И в этих обстоятельствах, чтобы вновь провозгласить неизбежность перестройки пространственно-временных понятий, требовалось известное мужество. У Матвея Петровича Бронштейна оно было.

Только спустя десятилетия вывод Бронштейна стал признан, хотя и сейчас еще квантовая «радикальная перестройка» теории гравитации остается нерешенной задачей.

Квантовые границы ОТО обнаружил вновь в 1955 г. Уилер, два года спустя в связи с этим вспомнили о планковских величинах [167]. В наше время планковские величины — стандартный синоним квантовой гравитации, «очевидные» границы ОТО. Еще более очевидно сейчас само существование таких границ. Однако дело обстояло совсем иначе в 30-е годы.

Бронштейн относился к анализу измеримости достаточно серьезно, поскольку в кратком изложении своей работы, существенно сократив другие разделы, анализ измеримости дал практически полностью. Но другие физики восприняли его результат о принципиальной квантовой ограниченности ОТО без должного понимания. Например, Фок, реферируя статьи Бронштейна [30, 31], нашел для этого результата лишь весьма неопределенные слова: «развиты некоторые соображения об измеримости поля» [276]. Выступая на защите и высоко оценив работу в целом (см. также [275, 278]), он скептически отнесся к анализу измеримости, усматривая прямую аналогию между нелинейностью ОТО и нелинейностью электродинамики Борна—Инфельда и сопоставляя гравитационный радиус в ОТО радиусу электрона в теории Борна—Инфельда [173, с. 318]. Отвечая на это замечание, Бронштейн в такой аналогии усомнился и был, конечно, ближе к истине.

Между нелинейной теорией гравитации (ОТО) и нелинейной электродинамикой Борна—Инфельда есть глубокое различие. Нелинейность ОТО в большой степени однозначна, и физическая причина этой нелинейности — принцип эквивалентности. А

нелинейный лагранжиан Борна—Инфельда «сделан руками»:

$$L_{BI} = \frac{2}{\varepsilon}\left(1 + \varepsilon L_{\mathrm{M}}\right)^{1/2},$$

здесь LM — обычный максвелловский лагранжиан, 8 — малая константа. Сам тип нелинейности не следовал из каких-либо глубоких физических соображений. Теория Борна—Инфельда была нацелена специально на проблему бесконечной собственной энергии электрона, а лагранжиан выбирался так, чтобы этой проблемы не возникало уже на классическом уровне. При этом радиус электрона re = e2/mc2 появлялся только как характерное расстояние! начиная с которого поведение поля E~e/(r + re) существенно отклоняется от кулоновского.

Поэтому действительно нельзя согласиться с Фоком в том, что имеется аналогия между радиусом электрона в теории Борна —Инфельда и гравитационным радиусом, существование которого связано с фундаментальным физическим фактом — равенством гравитационной и инертной масс, или теоретическим выражением этого факта — принципом эквивалентности.

Роль принципа эквивалентности можно продемонстрировать, сопоставляя мысленные эксперименты по измерению электромагнитного и гравитационного полей.

Вернемся к итоговой формуле для неопределенности поля из п. а):

$$\Delta E \sim \frac{c\hbar}{\rho \Delta x^5} + \frac{\rho\hbar}{\mu c \Delta x^3};$$

здесь р и ц — плотности заряда и массы пробного тела, Ах — его размер. Эта формула оправдывает понятие «электромагнитное поле в точке». Однако оправдание достигается за счет возможности использовать пробное тело с произвольно большими и независимыми плотностями заряда и массы. Такая возможность физически, конечно, фиктивна, поскольку неизвестно даже мысленных процедур изготовления соответствующих пробных тел; но теоретически эта идеализация допустима, потому что внутри самой электродинамики для нее нет запрета (значения элементарного электрического заряда и массы элементарных частиц вводятся в электродинамику извне).

Однако при переходе к гравитации такой запрет появляется. Его можно сформулировать по-разному. Например, ясно, что нельзя независимо распоряжаться величинами плотности «гравитационного заряда» и плотности массы, потому что имеется

связь

$$\rho_g = \sqrt{G}\mu.$$

Эта связь составляет суть принципа эквивалентности, на котором основана ОТО. И именно эта связь делает невозможным уменьшение неопределенности гравитационного поля АГ вместе с уменьшением размеров пробного тела Ах—0. Бронштейн такой запрет связал с невозможностью существования пробного тела с размерами, меньшими его гравитационного радиуса.

А проще всего (хотя и не так убедительно) попытаться перенести в теорию гравитации замечание Бора—Розенфельда [121, с. 121]: «...возникающие здесь разнообразные проблемы могут быть рассмотрены раздельно в силу того, что сам по себе аппаратквантовой электромагнитной теории независим от тех или иных представлений об атомном строении материи. Последнее явствует уже из того, что из числа универсальных констант в него входит помимо скорости света только квант действия; а из этих двух констант, очевидно, еще нельзя составить какую-либо характерную длину или интервал». В релятивистской квантовой гравитации должны действовать три фундаментальные константы c, G и h, из которых уже можно составить характерную длину) .

К анализу пределов применимости ОТО, проведенному Бронштейном, не следует предъявлять претензии в недостаточной строгости. Точное описание области применимости ОТО даст только анализ в рамках (еще несуществующей) полной квантовой теории гравитации.

И в наше время проблема измеримости гравитационного поля, так же как и гравитационное излучение атомных электронов, о котором говорил Эйнштейн, отнюдь не являются задачами практического значения. Однако, когда речь идет, по выражению Эйнштейна, о внутреннем совершенстве теории, физик имеет право рассматривать все возможности, не запрещенные самой теорией. Поскольку в теории гравитации нет запретов на рассмотрение атома и квантовых систем вообще, то величина эффекта не имеет значения для анализа теории средствами самой теории. И мысленный эксперимент по измеримости гравитационного поля — это, конечно, лишь некоторый способ анализировать внутреннее совершенство теории[56]. Однако история физики показывает, что именно теории высокого внутреннего совершенства достигали особенно значительного внешнего оправдания, преобразуя технику и жизнь человеческого общества в целом.

В настоящее время задача квантования гравитации не стоит изолированно. Без ее решения вряд ли будет построена единая теория фундаментальных взаимодействий. Так что дорога, на которую в 30-е годы вступил Матвей Петрович Бронштейн, вела в самый центр исследований современной физики.

5.5. Физика и космология

В мартовском выпуске ЖЭТФа за 1937 г. в последний раз появились работы М. П. Бронштейна. Их было две. Одна содержала ядерно-физический расчет, выполненный по просьбе И. В. Курчатова; появление этой небольшой работы отражало, можно сказать, научный быт Матвея Петровича, его вовлеченность в окружающую научную жизнь. Другая, большая статья «О возможности спонтанного расщепления фотонов», отражала скорее научное бытие автора. По содержанию она относится к квантовой теории поля, или — более поздним языком — к физике элементарных частиц, однако главный смысл она обретала в космологии. Эта работа представляет собой первый реальный результат взаимодействия физики элементарных частиц и космологии, взаимодействия, столь характерного для нашего времени, когда из космологических наблюдений извлекаются свойства элементарных частиц, а космологические модели (или сценарии, как сейчас говорят) строятся на основе теории элементарных частиц. В 30-е годы ситуация была совершенно другой, и для того чтобы лучше понять работу Бронштейна, надо знать тогдашнее состояние космологии.

а) Космология в 30-е годы. С момента своего возникновения в 1917 г. и до конца 20-х годов релятивистская космология воспринималась в основном лишь как волнующая возможность физико-математического описания Вселенной и как демонстрация огромного потенциала и глубины общей теории относительности. Реальных способов проверить космологическую теорию не было — даже проверки основ ОТО были на пределе экспериментального искусства и имели невысокую точность. Чисто теоретический характер космологии и неединственность модели Вселенной позволяли относиться к космологии с «ласковой снисходительностью», как к многообещающему, но слишком еще юному созданию.

В конце 20-х годов положение круто изменилось. В результате астрономических наблюдений (в первую очередь Э. Хаббла) была надежно установлена внегалактическая природа так называемых спиральных туманностей, которые оказались просто другими галактиками. И межгалактическое расстояние стало космологическим масштабом, по отношению к которому только и можно говорить об однородности Вселенной (без этого условия не удается получать достаточно определенные космологические выводы из уравнений ОТО).

А главный результат, который в 1929 г. получил Хаббл,

изучая другие галактики, состоял в открытии систематического красного смещения их спектров, пропорционального расстоянию (14)

В астрономии единственным способом определять скорость далеких объектов была доплеровская интерпретация смещений их спектров *vlc=AXIX* (если v^). Поэтому не потребовалось усилий, чтобы записать соотношение Хаббла как зависимость скорости удаления галактик от их расстояния до наблюдателя (до нашей Галактики):

$V=HR.$(15)

Коэффициент *H* Хаббл получил в результате измерений и введения многоступенчатой шкалы расстояний; по его тогдашним данным H~(2-10 лет)- . Так был установлен первый наблюдательный факт космологического характера. Очень быстро обнаружилось, что в релятивистской космологии была уже заготовлена математическая модель, пригодная для описания этого факта,— нестатическая модель Фридмана 1922 г., переоткрытая Леметром в 1927 г.[57]

Как следствие интерес к космологии резко возрос. Вместе с тем появилась возможность, а значит, и необходимость, количественно проверить космологическую теорию наблюдениями, т. е. отнестись к ней всерьез, как к физической теории. Одним из проявлений новой ситуации стал обстоятельный обзор по релятивистской космологии, написанный Бронштейном для УФН в 1930 г. (о нем рассказывалось в разд. 3.6). Этот обзор автор закончил указанием на главную трудность релятивистской космологии, связанную с возрастом Вселенной. Уже наивное рассмотрение хаббловского соотношения (15) дает, что расширение Вселенной началось

$$T=R/V=H^{-1}=2\cdot 10^{9}\ \text{лет}$$

тому назад. В точной космологической модели Фридмана—Леметра возраст Вселенной получался еще меньшим. Это вопиюще не соответствовало данным изотопной геологии (согласно которым уже для истории Земли требуется несколько миллиардов лет) и астрофизики. Только три десятилетия спустя в результате нескольких пересмотров шкалы расстояний хаббловский коэффициент *H* уменьшился в десять раз и соответственно возраст Вселенной стал оцениваться приемлемой величиной —20-10 лет. Сейчас хорошо видно, как бедны были тогдашние возможности эмпирического обоснования космологии, если основной количественный параметр изменился в десять раз. А тогда, в 30-е годы, астрономы хоть и сознавали, что данные их

наблюдений весьма неопределенны, но, как это обычно бывает, меру этой неопределенности преуменьшали. У нынешних специалистов может вызвать улыбку то, что Хаббл, стремившийся к интерпретации наблюдательного материала в рамках ОТО, пытался привлечь модель с положительной кривизной пространства.

Тридцатые годы были тяжелым испытанием для релятивистской космологии не только из-за принятой тогда короткой шкалы расстояний. Само несоответствие теории наблюдениям стало одной из причин появления альтернативных космологических схем (чтобы не злоупотреблять словом «теория»). Действовали и другие причины. От грандиозной картины расширения Вселенной у некоторых, видимо, не выдерживали нервы, и они искали более простого объяснения для соотношения Хаббла. Р. Цвикки уже в 1929 г. предположил, что галактики на самом деле не удаляются, а просто фотоны, прилетающие к нам от этих галактик, за долгое время путешествия успевают покраснеть. Милн в своей «кинематической» космологии, которую начал строить в 1931 г., обходился без ОТО и отделял космологию непроницаемой стеной от атомной физики. Эддингтон, наоборот, строил фундаментальную теорию, описывающую сразу и во взаимной связи и микро-, и мегаскопические свойства Вселенной. Тогдашнюю ситуацию вполне характеризует то, что авторами еретических космологий были астрофизики первой величины — Эддингтон, Милн, Цвикки.

Для большинства физиков-теоретиков эти построения выглядели если $н_{16}$е беспочвенными, то безответственными фантазиями[58], хотя астрономы честно сравнивали с наблюдениями все пригодные для этого модели — Цвикки, Милна и Леметра (имя Фридмана тогда упоминалось редко). И космология ОТО отнюдь не выглядела тогда наилучшей с наблюдательной точки зрения.

Отношение физиков (даже специалистов в ОТО) к релятивистской космологии также не было автоматически благоприятным. Космологическая задача слишком отличалась от других задач физики. Из ОТО надо было извлечь описание принципиально единичного объекта с принципиально единственной историей, а математический аппарат ОТО — дифференциальные уравнения и начальные условия — не отличается от других физических теорий и никакой единичности изначально не содержит. Кроме того, любое сопоставление теории с наблюдениями предполагало нефизическую экстраполяцию — ведь надо нечто говорить сразу о всей

Вселенной, а не только о наблюдаемой ее части. К такой экстраполяции, в частности, скептически относился В. А. Фок.

В СССР положение космологии в 30-е годы отягчалось еще и философским давлением на естествознание. В предыдущих главах уже говорилось о тогдашней повышенной чувствительности идеологии к естествознанию, о дискуссиях вокруг теории относительности и квантовой механики. По отношению к физическим теориям стражи философского порядка покушались только на отдельные следствия и интерпретации — слишком явным было практическое значение физики. Что же касается космологии, то скромные ее достижения не препятствовали отвергать ее целиком. Уже обзор Бронштейна 1931 г. в УФН был снабжен, напомним, нелепыми философскими примечаниями. А к 1937 г., когда появилась последняя статья Бронштейна, ситуация еще более обострилась. Те философы, которые считали себя вправе надзирать за физиками, особенно предосудительным считали возможную пространственную конечность Вселенной и ее нестатичность; гораздо более приемлемым казалось покраснение фотонов. Этих философских надзирателей помимо физической безграмотности отличал философский догматизм, следовать которому всегда спокойней и безопасней. Не обошлось тут без уже знакомого нам борца против физического идеализма: «На фронте космологии» — так назвал В. Е. Львов свою крупнокалиберную статью, вполне дающую представление об аргументации противников релятивистской космологии. В этой статье не хватает, пожалуй, только политической интерпретации покраснения фотонов; такой аргумент встал бы рядом с красным цветом меридиана у другого тогдашнего борца против идеализма — В. Ф. Миткевича.

«Философские» атаки достигали цели. Иначе не понять такую фразу из статьи Ландау 1937 г.: «...чтобы поддерживать солнечное излучение на постоянном уровне в течение двух миллиардов лет (предположительного времени существования Солнца согласно общей теории относительности)...» [216] (конечно, здесь подразумевается хаббловская оценка возраста Вселенной). Иначе появилась бы вторая часть обзора Зельманова «Космологические теории» [184], которая должна была включать релятивистскую космологию.

В такое время и появилась статья Бронштейна, показавшая, что гипотеза покраснения фотонов должна быть отвергнута. В результате доплеровская интерпретация красного смещения, лежащая в основе нестатической космологии, получила физическое обоснование. Поводом для этой работы Бронштейна стало то, что предположение о покраснении фотонов,

выглядевшее произвольной гипотезой (во всяком случае в глазах М. П.), получило неожиданную поддержку со стороны новейшей фундаментальной физики — дираковской теории электрон-позитронного вакуума.

В 1933 г. О. Гальперн высказал гипотезу, что в пустом пространстве фотон может взаимодействовать с электронами, находящимися в состояниях с отрицательной энергией, в результате чего электроны переходят в состояния с положительной энергией и затем возвращаются в исходное в несколько шагов, испуская кванты меньшей энергии. «Рассеяние такого типа,— писал Гальперн,— может только уменьшить частоту; это уменьшение, если оно мало, было бы в среднем пропорционально расстоянию, проходимому квантом через «вакуум». В этой связи может быть упомянута гипотеза, что константа Хаббла сводима к атомным константам без использования гравитационных теорий» [142]. Гальперна поддержал в 1936 г. Гайтлер в своей известной книге — первой монографии по квантовой электродинамике [141, с. 193] (видимо, именно книга Гайтлера была непосредственным поводом для работы Бронштейна, краткое изложение которой [34] появилось в 1936 г.)

Такая возможность фундаментальной физикой объяснить главный факт космологии заслуживала, конечно, того, чтобы рассмотреть ее внимательно. Нет оснований думать, что в отрицательном результате Бронштейн был уверен заранее. В частности, потому, что он отнюдь не считал окончательной релятивистскую космологию в тогдашней ее форме.

б) Отношение М. П. Бронштейна к космологии. Уже в обзоре Бронштейна 1931 г. наряду с энтузиазмом от могущества физической теории, способной описывать Вселенную, чувствуется трезвый взгляд. Тогда, правда, главной трудностью космологии Бронштейн называл неувязку хаббловского возраста Вселенной с данными астро- и геофизики; владея материалом этих областей, он не мог закрыть глаза на это расхождение. Однако в следующие несколько лет центром космологических размышлений Бронштейна стала принципиальная теоретическая трудность релятивистской космологии — множественность космологических моделей, проблема выбора начальных условий. Бронштейн считал, что подлинная космологическая теория должна не просто *подыскать* подходящую модель из числа многих возможных, а *объяснить* однозначным образом фундаментальные свойства — принципиально единственной — Вселенной как целого: в частности, объяснить, «почему из двух возможностей (расширение и сжатие) вселенная выбрала именно первую» [21, с.

28], объяснить безразмерные константы, характеризующие Вселенную. Бронштейн считал, что эти задачи неразрешимы в рамках неквантовой ОТО, уравнения которой симметричны по отношению к прошедшему и будущему, что решить их можно будет только на основе полной физической cGh-теории: «на самые существенные вопросы о мире как о целом мы вынуждены пока ответить незнанием, и физическая теория еще должна будет пройти длинный и трудный путь, прежде чем эти вопросы смогут быть надлежащим образом поставлены и разрешены» [Там же, с. 30].

Эту позицию можно было бы назвать максималистской, учитывая, что в космологии за прошедшие полвека решалось и решается сейчас много осмысленных задач (если их не относить к математике и космогонии), но нынешнее состояние космологии позволяет видеть глубинную правоту М. П. Бронштейна [181]. В космологических размышлениях Бронштейна присутствовал мотив, имеющий любопытные продолжения в современной космологии. Как известно, о Вселенной в целом и о (фундаментальной для космологии) экстраполяции физических законов на всю Вселенную Эйнштейн заговорил не первым. В наследство от классической термодинамики и статистической физики космология получила вопрос о пределах применимости второго начала термодинамики, «тепловую смерть Вселенной» и флуктуационную гипотезу Больцмана, предназначавшуюся для спасения Вселенной от этой унылой смерти. Больцман предположил, что наш наблюдаемый Мир — это гигантская флуктуация в равновесной и в среднем «мертвой» Вселенной; вероятность таких флуктуации очень мала, но сами они неизбежны. Соответствующий круг вопросов горячо обсуждался в больцмановские времена, хотя для этого обсуждения слов в физико-математическом языке не хватало.

Рассматривая эти же вопросы, Бронштейн пришел к выводу, что гипотеза Больцмана должна быть отвергнута из-за чудовищно малой вероятности такой флуктуации и что «объяснение вселенной как целого не может быть достигнуто на основе законов, симметричных по отношению к прошедшему и будущему, по отношению к замене $+t$ на —t; во вселенной должны существовать по крайней мере отдельные области, которые подчиняются законам, асимметричным по отношению к прошедшему и будущему» [21, с. 14]. В 1933 г. такие «отдельные области» легко сопоставлялись с «патологическими областями» внутри звезд (Ландау, 1932), где должна была действовать с/-теория и, согласно Бору, мог не действовать закон сохранения энергии. Однако бронштейновский анализ космологической

проблемы не зависел от идеи Бора. Уверенность Бронштейна в том, что Вселенную как целое может объяснить только несимметричная по времени теория, привела его к убеждению, что полная cGh-теория должна быть несимметрична по времени. Современная космология не может обойтись без Т-несимметричных физических теорий, с помощью которых объясняют, в частности, барионную асимметрию Вселенной [181].

Что касается флуктуационной гипотезы Больцмана и ее опровержений на основе вероятностных соображений, то им до сих пор не удалось придать форму, достаточно определенную и, главное, приложимую к релятивистской космологии. Однако Бронштейн и Ландау внесли в обсуждение новый элемент. Они придумали следующий остроумный довод в защиту флуктуационной гипотезы и его опровержение.

На вопрос, как это человеку (человечеству) так невероятно повезло — наблюдать столь большую флуктуацию, можно было бы ответить, пишет Бронштейн, что для самого существования человека необходимы условия, которых не найти в равновесной, термодинамически мертвой части Вселенной: «Для того чтобы мы могли наблюдать какое-либо событие, нужно, чтобы мы при этом могли существовать; существование же жизни связано с целым рядом условий, и, вероятно, к числу необходимых условий относится наличие твердой планеты, нагреваемой Солнцем, и т. д., т. е. уже наличие весьма значительных отступлений от термодинамического равновесия» [21, с. 13]. Но такой качественный ответ не выдерживает количественной проверки: для существования человека было бы достаточно места, если бы флуктуация затронула область, простирающуюся только до ближайших звезд (~10 км), а не всю наблюдаемую Вселенную (~10 км). Отношение соответствующих объемов характеризует степень невероятности гипотезы Больцмана.

Даже если не говорить о необходимости использовать в космологии релятивистскую теорию гравитации, эти рассуждения уязвимы. Для *существования* наблюдателя, подобного человеку, в течение некоторого времени может хватить помещения и гораздо меньших размеров, чем межзвездные. Но для *возникновения* наблюдателя, подобного человеку, эта область может оказаться тесной. Ясно, что вероятность флуктуации, состоящей в появлении человека (и окружающей его живой природы) сразу в готовом виде, отличается от вероятности простейшей флуктуации, способной стать началом эволюционной цепи, ведущей к человеку, $_{-26}$отличается множителем, несравненно меньшим, чем 10^{-26}. Поэтому надо позаботиться о спокойных условиях для эволюции в течение достаточно длительного

времени *T,* т. е. нужно побеспокоиться о достаточно спокойном окружении места эволюции на расстоянии *cT*. Если время биоэволюции, приведшей к человеку ($\sim 10^9$ лет), достаточно представительно, то получается как раз область размерами порядка наблюдаемой Вселенной.

Нетрудно понять, что неопределенность контрдовода не меньше неопределенности исходного довода. Однако уже в исходном фигурирует необычная для физики генетическая связь объекта и наблюдателя, порожденного самим объектом. Такая связь составляет суть так называемого антропного принципа, который привлекает значительное внимание в современной космологии. Эта связь (хотя и в негативном смысле) впервые, по-видимому, обсуждалась в статье Бронштейна 1933 г. [21] и в его совместной с Ландау статье [22]. Соответствующее рассуждение воспроизведено в «Статистической физике» Ландау, Лифшица [219, с. 29] (и в последующих изданиях) и стало отправным пунктом для различных «антропных» формулировок [185,

192].

Отношение Бронштейна к космологической проблеме во многом определялось его отношением к фундаментальной физической теории, поскольку по его представлениям «космологическая теория должна увенчать здание физической теории вообще» [21, с. 29]. Общий взгляд на космологию Бронштейн излагал в 1933— 1935 гг., и максимализм этого взгляда естественно связать с характерным для тех лет ожиданием радикальных перемен в фундаментальной физике. В последующие годы его отношение к космологии стало, видимо, более уравновешенным. Однако идея глубинного родства микрофизики и космологии была укоренена в его сознании.

А теперь, в общих чертах охарактеризовав обстоятельства, в которых появилась последняя крупная работа Матвея Петровича Бронштейна, расскажем наконец о ее содержании.

в) Красное смещение, принцип относительности и поляризация вакуума. Начинает Бронштейн с краткого обсуждения эффектов нелинейного самодействия в электродинамике. О «рассеянии света на свете» тогда заговорили и в рамках классической нелинейной (Борн — Инфельд), и в рамках квантовой электродинамики. Превращение фотона в пустом пространстве в несколько других, или спонтанное расщепление фотона,— это родственный эффект; если в уравнении рассеяния у1 + у2— — Y3 + Y4 один фотон «перенести с обратным знаком» из левой части в правую, получим уравнение расщепления фотона у— у1 + у2 + у3 Но, как отмечает Бронштейн:

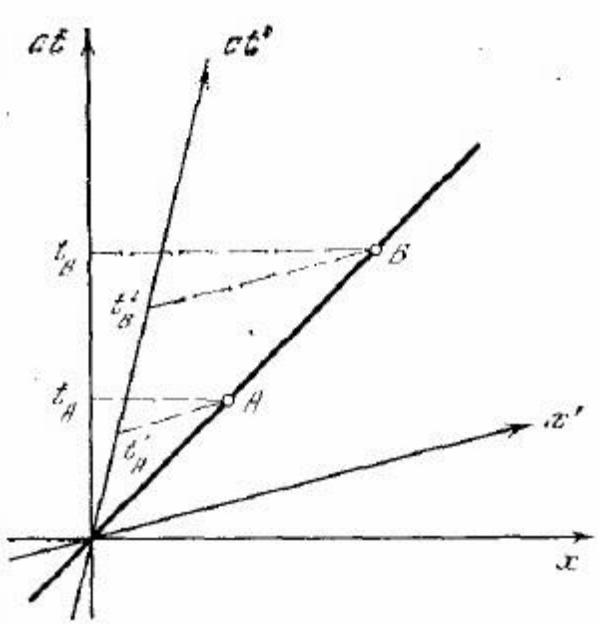
«С точки зрения экспериментатора эффект спонтанного

расщепления фотона мог бы представлять несравненно больший интерес, нежели рассеяние света светом. Проверка на опыте теоретических расчетов, относящихся к рассеянию света светом, в настоящее время практически невозможна, так как для этого потребовались бы чудовищные интенсивности в условиях полного исключения всякого добавочного рассеяния. Для того же чтобы наблюдать спонтанное расщепление фотона, если оно на самом деле происходит, необходимо лишь иметь в своем распоряжении достаточно большие промежутки времени: как бы ни была мала вероятность спонтанного расщепления в секунду, расщепление должно произойти, если только фотон путешествует в пустоте достаточно долгое время. В распоряжении астронома имеются фотоны, распространявшиеся в пустом пространстве в течение огромного промежутка времени (свет от внегалактических туманностей 20-й звездной величины, спектры которых еще могут быть сфотографированы с помощью стодюймового рефлектора, доходит до земного наблюдателя в течение 190 миллионов лет). Нельзя ли попытаться решить вопрос о спонтанном расщеплении фотонов с помощью астрономического наблюдения?» [35, с. 285].

Не так давно стали говорить о том, чтобы в качестве физической лаборатории использовать Вселенную (из-за физических и экономических ограничений на создание все более мощных ускорителей) [242]. Мы видим, что эта идея была хорошо знакома Бронштейну в 1937 г. Вернемся, однако, к его статье.

«Гальперн высказал гипотезу, согласно которой "космическое красное смещение", исследованное Хабблом и Хьюмасоном, объясняется постепенным отщеплением небольших инфракрасных фотонов от фотона видимого света, идущего к земному наблюдателю от отдаленных небесных объектов. Эта точка зрения кажется весьма привлекательной, так как все существующие теории красного смещения (релятивистские модели "расширяющейся вселенной", диффузия системы галактик по Милну) оказались бессильными объяснить наблюдаемое количественное значение "коэффициента экспансии". Гипотеза Гальперна дает, на первый взгляд, надежду на вычисление коэффициента экспансии системы галактик из констант атомной физики. Я думаю, однако, что гипотеза Гальперна неверна».

Это мнение Бронштейн обосновывает очень красивым рассуждением, обнаружив, что «с помощью специального принципа относительности можно вывести некоторые общие свойства интересующего нас явления, не делая никаких специальных предположений о природе механизма, приводящего к спонтанному расщеплению фотона».



Мировая линия фотона

Пусть фотон летит в пустоте вдоль оси x относительно некоторой системы отсчета (x, t), на диаграмме Минковского (x, ct) мировая линия фотона — AB. И пусть другая система отсчета (x', t') движется относительно исходной со скоростью v тоже вдоль оси x. Если w — вероятность расщепления фотона в единицу времени, то вероятность того, что расщепление фотона произойдет между мировыми точками A и B, должна быть одинакова в обеих системах отсчета и равна

$w(t_B - t_A) \quad w'(t_B' - t_A')$.

Преобразование Лоренца дает

$$t_B' - t_A' = \frac{t_B - t_A - \frac{v}{c^2}(x_B - x_A)}{\sqrt{1-(v/c)^2}}.$$

Поскольку для света $x_B - x_A \quad c(t_B - t_A)$. то

$$t_B' - t_A' = (t_B - t_A)\frac{1 - v/c}{\sqrt{1-(v/c)^2}}.$$

Отсюда следует

$$w = w'\frac{1 - v/c}{\sqrt{1-(v/c)^2}}.$$

А поскольку по формуле эффекта Доплера

$$\nu' = \nu\frac{1 - v/c}{\sqrt{1-(v/c)^2}},$$

то

$$w\nu = w'\nu',$$

т. е. произведение wv — лоренц-инвариантная величина. Считать wv просто постоянной величиной, как показывает Бронштейн, нельзя в силу принципа неопределенности. Если же учитывать, что «"фотон", с которым имеет дело экспериментатор, является квантовым обобщением не классической неограниченной плоской волны, а волнового пакета, составленного из таких плоских волн и обладающего, следовательно, не вполне определенным значением количества движения», и ввести параметры реального «фотона» — спектральную ширину и неопределенность направления — с помощью неопределенности волнового вектора Avx, Avy, Avz, то получим, что

$$w = \frac{1}{\nu} f\left(\frac{\Delta\nu_x \Delta\nu_y \Delta\nu_z}{\nu}\right),$$

где f — некоторая функция, т. е. сильную зависимость вероятности расщепления фотона от частоты. В случае, если бы красное смещение объяснялось этим механизмом, величина смещения была бы существенно разной в разных частях спектра.

А по астрономическим наблюдениям смещение одинаково для всех спектральных линий одного и того же объекта, что вполне соответствует доплеровской интерпретации, согласно которой смещение зависит только от скорости объекта:

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{\sqrt{1-(v/c)^2}}{1-v/c} - 1 = \frac{v}{c} + \frac{1}{2}\left(\frac{v}{c}\right)^2 + \dots$$

Тем самым космологическая компонента гипотезы Гальперна была «убита».

Оставалась физическая компонента. И эту компоненту можно было проверить только прямым расчетом. Таких расчетов Бронштейн выполнил, собственно, два; это было связано с тем, что, как он отмечает, «несовершенство существующей теории позитрона делает исчерпывающее теоретическое решение вопроса крайне затруднительным». Первый расчет, в рамках «элементарной теории, не учитывающей взаимодействия электронов отрицательной энергии друг с другом», привел к возможности спонтанного распада фотона на три части. Однако помимо физически неполной формулировки задачи получившееся в результате выражение вероятности нелегко осмыслить физически. Второй расчет проведен уже с учетом поляризации вакуума и дал нулевую вероятность спонтанного расщепления фотона (при тогдашнем состоянии квантовой электродинамики такой расчет был трудной задачей). Так что предположение Гальперна и Гайтлера было опровергнуто окончательно.

Результат, полученный на основе общего физического принципа — специального принципа относительности,— согласовывался с прямым квантово-электро-динамическим расчетом. Это согласие было существенно и для самой физической теории, потому что, как писал Бронштейн: «В настоящее время еще не существует вполне законченной теории поляризации вакуума».

Последняя работа Бронштейна — это теоретическая физика высшего класса: мастерское владение фундаментальными физическими принципами, умение с их помощью извлекать новые физически содержательные утверждения для сложных ситуаций, внимание к эксперименту и, конечно, владение техническим ремеслом теоретика.

Результат Бронштейна был замечен и оценен. Его красивое рассуждение, использующее принцип относительности, приводится, например, в известной монографии по космологии Я. Б. Зельдовича и И. Д. Новикова [183, с. 124]. Вошло оно и в

арсенал фундаментальной микрофизики. В этой области время от времени появляются предположения о необычном поведении физических объектов на очень малых расстояниях (соответственно при больших импульсах), достаточно малых (больших), чтобы эта необычность не была заметна до сих пор в экспериментах. Бронштейновское рассуждение указывает существенные ограничения для гипотез такого рода. Ведь если предположить, что с фотоном, например, может «что-то» происходить при очень коротких длинах волн, когда, скажем, может чувствоваться дискретность пространства, то согласно Бронштейну это «что-то» должно помнить о своем низкочастотном (длинноволновом) хвосте, гораздо более доступном эксперименту, так как

$$w \sim \frac{1}{\nu} \sim \lambda.$$

Но и Бронштейн в 1937 г. не замыкался в рамках космологии и теории вакуума (эти рамки, как ни странно это звучит сейчас, были тогда весьма узкими):

«Заметим, что общие свойства вероятности расщепления в единицу времени, выведенные выше с помощью принципа относительности, остаются справедливыми и в том случае, если в числе частей, на которые распадается фотон, имеются не только кванты света, но и гравитационные кванты. (Такие расщепления, разумеется, нисколько не противоречат законам сохранения.) В настоящее время не существует удовлетворительной теории взаимодействия между светом и тяготением. Возможно, что будущая квантовая «единая теория поля» должна будет рассмотреть и такие превращения (полные или частичные) квантов электромагнитного поля в гравитационные кванты. «Nature seems to be delighted with transmutations» (Исаак Ньютон. «Оптика», вопрос 30)» [35, с. 290].

Трансмутации с участием гравитонов, о которых здесь говорится, привлекали внимание спустя 10— 30 лет в рамках квантовой гравидинамики, но, несомненно, более важную роль им предстоит сыграть во псе еще будущей «квантовой единой теории поля».

Глава 6. Стиль творческой личности

6.1. Мировосприятие

В конце предыдущей главы приведен абзац из статьи Бронштейна в ЖЭТФе. Трудно не заметить слов, написанных за два века до открытия красного смещения и позитронов. Что это? Желание щегольнуть эрудицией? Надеемся, у читателя такое предположение не возникает. Если же кто-то, знакомый с бесстрастным, сухим языком ЖЭТФа, заподозрит нечто подобное, советуем ему прочитать статью Бронштейна и убедиться: написана она во всех других отношениях совершенно «по делу».

Что же означает древняя цитата в статье на вакуумно-космологическую тему? В ссылке на Ньютона проявилось авторское мировосприятие. Для Бронштейна физика не игра с заданными правилами, а то, что выросло из размышлений Ньютона и других естествоиспытателей прошлого. Он ощущал связь позитронов и космологии с атомами и механикой Ньютона, связь, представляющую собой цепь заблуждений и прозрений, опытов и теорий. Эта цепь, быть может, иногда мешает быстрому движению корабля науки, но зато обеспечивает безопасность в штормы.

Уже 23-летний Бронштейн пишет в популярной брошюре: «Мир оказался еще более простым, чем думали древние греки, по мнению которых все тела природы состояли из четырех элементов — земли, воды, воздуха и огня. Протоны и электроны в настоящее время считаются (надолго ли?) последними элементами, образующими материальные тела» [63, с. 58]. Слова «древние греки» и «надолго ли?» ясно показывают, что для автора настоящее органически связано с прошлым и будущим.

В книге «Атомы, электроны, ядра» по поводу рождения и аннигиляции электрон-позитронной пары М. П. приводит «одно пророческое место в "Оптике" Исаака Ньютона, написанной больше двухсот лет тому назад. Ньютон говорит: «"Природа любит превращения. Среди разнообразных и многочисленных превращений, которые она делает, почему бы ей не превращать тела в свет и свет в тела?"... Так, через два века с лишним сбылась гениальная фантазия Ньютона» (судя по расхождению с вавиловским переводом 1927 г., М. П. читал Ньютона в подлиннике). А в научной статье 1929 г. о циркуляции атмосферы есть такая ссылка: «...как отметил еще Галилей в "Разговорах о двух важнейших системах" (в беседе коперниканца Сальвиати и аристотелианца Симпличио о причине пассатных ветров)...».

Физику Бронштейн воспринимал и как гуманитарную науку, поскольку ее делают люди. Подлинному профессионалу,

получающему радость от своей работы, ему все же было тесно и рамках одной лишь своей профессии.

Слово «игра», употребленное по отношению к физике, вполне выражает точку зрения, бытующую среди профессионалов. Это слово давно уже обрело серьезные значения: в психологии, в педагогике, в культурологии. Тот, кто наблюдал, как самозабвенно погружается в игру ребенок, легко себе представит и физика-теоретика, отдающегося игре с формулами и понятиями. Швейцарский писатель Г. Гессе в книге «Игра в бисер» придумал целую страну — Касталию, для жителей которой главное дело — освоение духовной культуры. Высшей формой их жизни была Игра, для которой годились все результаты духовного развития человечества — от японского стихосложения и прелюдий Баха до астрофизики и теории чисел.

Гессе явно преуменьшил расстояние, разделяющее точные и неточные части культуры. И хотя действие своего романа он отнес в далекое будущее, ему не удалось сколь-нибудь конкретно описать достигавшийся в Игре синтез или хотя бы глубокое взаимодействие «физики и лирики». Отсюда следует, что сам автор вряд ли мог участвовать в придуманной им Игре.

«Физики стремятся сложные вещи объяснять просто, поэты — наоборот — простые вещи объясняют очень сложно»,—такую формулировку мог предложить только физик. Но физик Бронштейн вряд ли считал эту шутку очень удачной. Он бы, конечно, не отрицал противоположность физики и поэзии, но, вероятно, назвал бы эти и противоположности взаимно дополнительными[59]. Разделение наук на естественные, неестественные, сверхъестественные и противоестественные тоже придумал физик. Бронштейн наверняка нашел бы добрые слова в защиту наук «неестественных», т. е. гуманитарных, хотя обе классификации предание приписывает Ландау, в чьих устах эти формулировки звучали часто. Слово «филология» в тех же устах было ругательством, хотя и не крепким. В физической дискуссии и Бронштейн мог так сказануть, но к собственно филологии относился уважительно.

В его окружении знать наизусть много стихов было делом обычным, но М. П. в этом отношении заметно выделялся (вспомним рассказ Е. Н. Канегиссер о знакомстве с ним). И, что еще важнее, стихи хранились у него не только в памяти, но и в душе: стихи русских классиков (на конференцию 1934 г. в Харькове он приехал с томиком «Евгения Онегина»), великая русская поэзия нашего века, поэзия, порожденная другими культурами. В надписях на оттисках статей М. П., сохранившихся у его друга — ленинградского филолога С. А. Рейсера, есть стихи

Шиллера: «Elisabeth / War deine erste Liebe; deine zweite / Sei Spanien!», английского поэта XIX в. О'Шонесси: «We are the music-makers / And we are the dreamers of dreams / Wandering by the lone sea-breakers / And sitting by desolate streams. / / World-losers and world-forsakers / On whom the pale moon gleams / Yet we are the movers and shakers / Of the world for ever, it seems» (маленькая неточность цитаты свидетельствует о том, что писалось это по памяти).

Знание нескольких языков в среде физиков сейчас встретишь довольно редко, в частности, потому, что для работы хватает одного английского. В 30-е годы физика была многоязычней, но и тогда знания Матвея Петровича намного превосходили прикладные цели. Он свободно владел тремя «основными» языками, под его редакцией вышли книги, переведенные с английского, немецкого и французского. Неизгладимое впечатление на окружающих производили его свободные переходы и переводы с одного языка на другой во время конференций. С юных лет он любил украинский язык. Мог сочинить стихотворение на латыни. В свое удовольствие изучал грузинский, испанский[60], древнееврейский, турецкий, японский. Как видим, он не искал легких приобретений и уходил от индоевропейской семьи в совсем иные языковые миры.

Отношение Бронштейна к физике, кстати, также можно приписать филологии, если иметь в виду буквальный перевод этого термина — любовь к языку. Язык науки, его изменяющийся словарь, семантика, идиомы, границы выразимого,— все это очень занимало его.

Ну и, наконец, о филологии Бронштейна в более привычном смысле — о его литературном даре — мы еще будем говорить в связи с его научно-художественными книгами.

Знавшие Матвея Петровича единодушно говорят о его поразительной образованности, энциклопедических познаниях. Доставшуюся ему от природы редкую память он заполнял глубоко продуманными и прочувствованными знаниями. Он был открыт новым знаниям, приобретал их с легкостью и напрочно. Рыться в книгах — старых и новых — было одним из любимых его занятий; регулярно обходя книжные магазины, он никогда не возвращался с пустыми руками. Так он изредка обнаруживал новые для себя области знаний. Так же, перелистав новую книгу с названием «Смерть после полудня» (1934), он открыл Хемингуэя, неизвестного тогда даже его друзьям-литераторам.

«М. П. Бронштейн является одним из наиболее талантливых представителей младшего поколения физиков-теоретиков в СССР. Он обладает совершенно исключительной эрудицией по всем

вопросам теоретической физики — твердого тела и атомного ядра, теории относительности и теории квантов, статистики и электродинамики,— соединенной с блестящими математическими способностями»; «Его сильный критический ум и способность быстро разбираться в сложных вопросах делает его исключительно ценным научным работником»; «Матвей Петрович Бронштейн является одним из выдающихся физиков-теоретиков Советского Союза.

Он отличается редкой эрудицией в разнообразнейших областях теоретической физики»,— так писали в 30-е годы Я. И. Френкель, В. А. Фок [173, с. 322, 323], Л. И. Мандельштам, С. И. Вавилов и И. Е. Тамм [167].

«Он обладал огромными и многосторонними познаниями. Совершенный эрудит. Трудно сравнить его в этом отношении с кем-либо»; «Бронштейн был энциклопедически образованным человеком. Он разговаривал на профессиональные темы с представителем любой специальности — биологом, египтологом, палеонтологом, не говоря уже о физике»,— так пишут сейчас В. А. Амбарцумян (письмо Г. Е. Горелику от 14.1. 1984 г.) и А. Б. Мигдал [238].

А вот что писал К. И. Чуковский: «За свою долгую жизнь я близко знал многих знаменитых людей: Репина, Горького, Маяковского, Валерия Брюсова, Леонида Андреева, Станиславского, и поэтому мне часто случалось испытывать чувство восхищения человеческой личностью. Такое же чувство я испытывал всякий раз, когда мне доводилось встречаться с молодым физиком М. П. Бронштейном. Достаточно было провести в его обществе полчаса, чтобы почувствовать, что это человек необыкновенный. Он был блистательный собеседник, эрудиция его казалась необъятной. Английскую, древнегреческую, французскую литературу он знал так же хорошо, как и русскую. В нем было что-то от пушкинского Моцарта — кипучий, жизнерадостный, чарующий ум»[61] [167, с. 356].

Широта интересов и познаний Бронштейна была гармоничной, и физику он воспринимал как органическую часть человеческой культуры. Среди современников автора Игры в бисер Матвей Петрович был из очень немногих, кто мог претендовать на участие в ней. Но вряд ли ему захотелось бы переселиться в Касталию, ведь там играют только с готовыми результатами, с прошедшими событиями духовной жизни, а его не меньше занимали грядущие.

Бронштейн относился к тем теоретикам, для которых физика не сводится к возможности решить увлекательные и трудные

задачи раньше других, изящнее и в большем количестве. Он не был прагматиком, несмотря на свободное владение математическим аппаратом и большую силу ума. Краткость человеческой жизни не была для него достаточной причиной, чтобы не размышлять над трудными вопросами, не обещающими скорого решения. Для него жизненно необходимой была целостная и развивающаяся физическая картина мира. Об этом говорит и глубокий его интерес к предполагаемым точкам роста физического знания: законам сохранения и локальности пространственно-временного описания в квантово-релятивистской физике.

Стоит подчеркнуть, что это был не только так называемый философский интерес. Бронштейн, по свидетельству многих знавших его, не имел себе равных по объему глубоко продуманных физических знаний, и поэтому для него упомянутые два вопроса взаимосвязаны с другими фундаментальными фактами, свойствами физической реальности: с вопросом об источнике звездной энергии, с космологической временной асимметрией, с будущим подлинным синтезом квантовых и релятивистских идей, с фактом атомизма материи.

В то же время отношение Бронштейна к науке несомненно имело и философскую компоненту. В его популярных книгах и статьях рассказы о жизни развивающейся физики сопровождаются выразительными и точными замечаниями эпистемологического характера (несколько примеров мы еще приведем). О вкладе Бронштейна в методологический анализ новой физики пишут ныне историки философии [178].

Выдающаяся образованность и сила логического мышления делали Бронштейна незаменимым участником физических обсуждений. Но те же самые качества, возможно, несколько сковывали его конструктивную интуицию. Бытует мнение, что большие знания могут мешать творчеству. По-видимому, сам Бронштейн думал о себе нечто подобное. Это можно понять по строкам письма Я. И. Френкеля, посланного жене в январе 1931 г. из США: «Письмо от Бронштейна, в котором он выражает сомнение в своих талантах и советует мне добыть рокфеллеровскую стипендию для кого-нибудь другого, меня очень растрогало. Я считаю его сомнения неосновательными и уверен в том, что из него выйдет не только хороший ученый, но и исследователь» [284, с. 267].

Ходячая истина о том, что слишком большие знания — помеха научному творчеству, как и многие другие ходячие истины, на самом деле может держаться на ногах только с посторонней помощью — с помощью существенных оговорок.

Некоторый объем знаний для одного может быть тяжелым бременем, мешающим сделать шаг в сторону от протоптанных и даже заасфальтированных дорог, а для другого такой же объем — лишь предварительные сведения, необходимые для успешного поиска новых путей, или, следуя словоупотреблению из письма Я. И. Френкеля,— ученость, необходимая для исследовательской работы. Есть все основания думать, что М. П. относился именно к «другим». Вовсе не заметно, чтобы он излишне оберегал устои. Скорее, наоборот. Как мы не раз видели, Бронштейн был настроен (иногда, быть может, даже слишком) на изменение устоев науки[62].

Выступая как-то оппонентом на защите диссертации и оценив ее в общем положительно, он назвал результат чисто университетским эффектом. И пояснил, что в средневековых университетах диссертанты особенно бережно относились к сохранности общепринятых постулатов. А по адресу экспериментаторов он в соответствующей ситуации съехидничал: «Они боятся, как бы не сделать большое открытие». Все это совершенно не похоже на человека, который настолько переполнен энциклопедическими знаниями, что со страхом думает о новом издании энциклопедии.

Когда Бронштейна как-то спросили, почему он не сделал большего, он ответил, что ему еще не попалась задача, которая бы заинтересовала его достаточно сильно. В этом тоже проявилось мировосприятие.

Только поверхностно представляя устройство науки, можно думать, что работа теоретика состоит в совершении открытий. В некотором смысле открытие — побочный результат. Возможность большого открытия зависит от многого: от общей ситуации в науке, от предубеждений теоретика (которые в зависимости от результата называют научным идеалом или предрассудком), от его техники и информированности (иногда полезна и неинформированность), от разнообразных обстоятельств, объединяемых словом «везение». И, разумеется, возможность открытия зависит от погруженности теоретика в проблему, от его интереса к проблеме. А интерес зависит от мировосприятия.

В главе 4 уже говорилось о различии мировосприятий теоретиков и были введены ярлыки «решатель» и « мыслитель» (там же сказано об условности этих названий и самого разделения). Бронштейн, мы видели, умел решать задачи, но решателем он не был. Здесь напрашивается сопоставление его с Ландау. В нашей книге эти фамилии уже не раз стояли рядом. С университетских лет их связывали близкие личные отношения. Связывало их и активное научное общение.[63] Однако совместная

статья у них только одна, и это не случайно. При значительной общности научного стиля мировосприятия их весьма различались. Ландау с большим основанием можно отнести к решателям. Он отличался искусством ставить задачи так, чтобы их можно было одолеть. По словам В. Л. Гинзбурга: « Ландау был особенно силен в решении трудных задач...» [163, с. 368].

По свидетельству Е. М. Лифшица, Ландау «была противна тенденция,— к сожалению, довольно распространенная,— превращать простые вещи в сложные (часто аргументируемая общностью и строгостью, которые, однако, обычно оказываются иллюзорными). Сам он всегда стремился к обратному — сделать сложные вещи простыми, наиболее ясным образом выявить истинную простоту лежащих в основе явлений законов природы. Умение сделать это, "тривиализовать" вещи, как он сам говорил, составляло предмет его особой гордости» [89, с. 14].

Умение тривиализовать, умение превратить сложные вещи в простые — это драгоценное качество. Хорошо известный пример, когда это качество привело к фундаментальному результату,— создание Эйнштейном специальной теории относительности, в основу которой была положена простая кинематика вместо сложной динамики электрона в эфире.

Не менее драгоценным, однако, бывает и противоположное качество — в тривиальном, привычно простом разглядеть сложность (которая только на глубоком уровне обернется простотой). Наиболее известный пример такого рода — это создание ОТО, когда в тривиальном, всем известном равенстве инертной и гравитационной масс Эйнштейн разглядел искривленность пространства-времени.

При прочих равных мировосприятие «решателя», «тривиализатора» чаще приводит к результатам. Для физика-мыслителя интерес к данной задаче существенно зависит от того, какова ее связь с целостной картиной мира; задачи, способные увлечь его сильно, встречаются реже. В разных научных ситуациях предпочтительны бывают разные типы методологических установок и предубеждений, а в целом различные мировосприятия дополняют друг друга.

Объясняя, почему научный потенциал М. П. Бронштейна раскрылся не полностью, не забудем, что он просто не успел... Вспомним выдающиеся физические результаты, полученные авторами старше тридцати лет (самые известные — планковский спектр, ОТО, релятивистская космология, уравнение Шредингера).

И ведь жизнь Матвея Петровича наполнялась не только физикой. Говорить, что таланты могут мешать друг другу,

довольно глупо, но никуда не деться от того, что в сутках только 24 часа. Бронштейн был одарен щедро и, кроме таланта физика, обладал еще двумя — педагогическим и литературным.

6.2. Призвание педагога

Тридцатые годы очень благоприятствовали раскрытию педагогического таланта. Страна нуждалась в образованных людях. Число учащихся быстро росло, преподавателей не хватало. Положение усугублялось отсутствием учебников. А в физике ситуация была особенно трудной из-за того, что сама эта наука в первой трети нашего века переживала революцию.

Бронштейну судьба предоставила много поводов для размышлений на педагогические темы. Ведь у него самого главными учителями были книги, а самостоятельное преодоление трудных мест оставляет гораздо более глубокий след, чем щедрая посторонняя помощь. Но, разумеется, одно лишь самообразование не может объяснить талант педагога.

Бронштейн применял этот талант в разных аудиториях. Читал лекции для старших школьников, курсы теоретической физики для студентов, лекции для аспирантов и начинающих исследователей. И это еще не все. Педагогический спектр Матвея Петровича был шире. Его научно-художественные книги (о которых речь впереди) адресованы в первую очередь 11—13-летним читателям. С другой стороны — с другой стороны спектра — у него была слава первоклассного докладчика, мастерски излагавшего трудные научные вопросы. Он был главным докладчиком на ядерном семинаре ЛФТИ, часто выступал на теоретическом семинаре с обзорами и рефератами. А хороший доклад на семинаре учит коллег независимо от их возраста. Сохранилось свидетельство — сделанные В. Р. Бурсианом подробные конспекты некоторых докладов Бронштейна [98]. Если еще учесть научно-популярные статьи и книги, то можно сказать, что фактически он преподавал физику для всех желающих ее узнать.

Результаты педагогического творчества, если они не зафиксированы в книгах, заметить трудно. Хотя общественная ценность этого творчества огромна, оно растворяется в знаниях и навыках тех, на кого обращено. Нелегко бывает восстановить путь, которым приходишь к какому-то знанию. Но память о замечательном мастерстве Бронштейна-лектора сохранилась у многих.

С. В. Вонсовский вспоминает, что в 1931 г. по инициативе студентов-выпускников ЛГУ Бронштейн был приглашен в университет преподавать. Всего год назад он сам был студентом, но успел уже обзавестись репутацией прекрасного лектора. Читать ему предстояло курс механики сплошных сред — не

самый, как известно, увлекательный. Однако в его исполнении и этот курс был интересным. Под впечатлением лекций студенты решили, что прозвище молодого лектора хорошо сочетается с фамилией одного из создателей теории упругости, и между собой называли лектора «аббат Сен-Венан». Если на лекциях речь шла о физике давно и твердо установленной, то в перерывах, которые часто затягивались, М. П. увлеченно рассказывал о физике, в которую слушателям предстояло окунуться. Особенно ясно студенты смогли оценить искусство лектора после того, как курс был прерван и лектора заменили (последствие Гессениады).

М. Г. Веселов помнит блестящие лекции по общей теории относительности, которые М. П. читал в 1932 г. аспирантам Физико-математического института АН СССР; А. И. Ансельм вспоминает его замечательные лекции на свободные темы в университете для аспирантов и сотрудников (письма Г. Е. Горелику от 25.5 и 26.4 1984 г.).

А. Б. Мигдал, говоря о своих университетских учителях, наряду с В. И. Смирновым и В. А. Фоком выделяет М. П. Бронштейна: «Лекции Матвея Петровича, блестящие по форме и глубине, прививали любовь к вычислениям, не столь математически строгим, как у Фока, но зато адекватным изучавшейся задаче. Вспомним, что в те времена почти не было книг по теоретической физике, и все эти лекции были совершенно оригинальны. Матвей Петрович сделался моим первым учителем в теоретической физике... » [238, с. 23].

Я. Б. Зельдович в автобиографических заметках [182] вспоминает лекции М. П. по электродинамике, в которых должное место занимало понятие градиентной инвариантности (с обобщением этого понятия — калибровочной симметрией связывают сейчас главные надежды на построение единой теории фундаментальных взаимодействий). А вот как о лекциях Бронштейна по электродинамике рассказывает Я. А. Смородинский (по просьбе авторов этой книги):

«Лекции он начал с понятия поля, неизбежность которого стала очевидной, когда он задал вопрос, где находится энергия светового импульса после того, как импульс покинул источник, но еще не попал в приемник (то, что свет распространяется с конечной скоростью, все уже знали). На доске был нарисован прожектор.

Далее речь шла о том, что на заряд действует поле, а поле — вектор. С другой стороны, источник поля — плотность заряда — скаляр. Сразу же выяснилось, что уравнение, связывающее электрическое поле и плотность, должно быть линейным (принцип суперпозиции) и дифференциальным (принцип

локальности). Отсюда следовало сразу (принцип симметрии), что divE = 4 п р (4п — коэффициент, вводимый по традиции). Сейчас, спустя много лет, вывод кажется строгим, и все три принципа упомянуты там, где нужно. Тогда же вывод прозвучал как вызов здравому смыслу. Итог был поразительным: просмотрены были все учебники, споры велись часами, но ...первое уравнение Максвелла вошло прочно в сознание, хотя и оставалось смутное подозрение, что где-то скрыт подвох.

На следующей лекции разговор начался с закона сохранения заряда. Чтобы выполнялось p + div j = 0, надо (с учетом выведенного уже первого уравнения), чтобы div(E + 4 п р) равнялось нулю. Отсюда следовало (по правилам тензорного анализа), что E + 4 п р = c rot B, где B— новый произвольный вектор, а c — некоторая константа, и неожиданный вывод: кроме поля Едолжно быть еще одно поле; это и есть магнитное поле (следствие правил тензорного анализа!). Ну, а магнитное поле источников не имеет (опыт!), и, значит, divB = 0. Аудитория взорвалась (в перерыве) от негодования. Однако сокрушить логику Матвея Петровича не удалось, и еще два уравнения вошли в память студентов.

Последнее уравнение выводится просто из закона Фарадея. Все оказалось после этого крепко связанным, и можно было переходить к конкретным задачам. Дальше все шло не менее эффектно и строго. Аудитория продолжала шуметь и проверять выводы по другим учебникам.

Еще эпизод. Одна из лекций началась словами: «Интегрировать умеет сейчас каждый дурак. Мы займемся более трудным делом — будем учиться дифференцировать». Затем началось доказательство того, что решение, записанное в форме запаздывающих потенциалов (интегралов по источникам), удовлетворяет условию Лоренца ф + c div A = 0 в силу закона сохранения заряда. Менялись порядки производных и интегралов, двигались, уходя в бесконечность, границы интегрирования, на доске происходило нечто космическое. И опять все точно запечатлелось в памяти студентов,

В лекциях Матвея Петровича было нечто от абстрактного театра, парадоксального, гротескового. Они остались в памяти, как истинные произведения искусства».

У Бронштейна был обширный педагогический опыт. Он преподавал в университете, на физико-механическом факультете ЛПИ, в пединституте им. Покровского. Читал практически все фундаментальные курсы: электродинамику, статистическую физику, квантовую механику, теорию излучения (как тогда называли квантовую электродинамику), теорию гравитации и др.

В 1934/35 г., когда ядерная физика только разворачивалась, прочел для молодых сотрудников ЛФТИ курс по теории атомного ядра.

В своих лекциях Бронштейн выбирал кратчайший путь к освоению материала; исторический путь таковым почти никогда не бывает. Историю науки М. П. знал хорошо, удивительно хорошо для активно работающего теоретика, которому нет еще тридцати. И он без труда мог бы украсить свои лекции историко-научными анекдотами и занимательными подробностями. Но чтобы сжать историю многих десятилетий в семестровый курс, надо уметь видеть не только научную логику в свете истории, но и историю в безжалостном свете логики. Бронштейн видел и то и другое. Его лекции учили не только физике, но и тому, как физику делать. Он умел прояснять сложные физические конструкции и вместе с этим внедрял новый физический стиль, демонстрируя его на практике.

Каждой эпохе в физике соответствует свой стиль. Начало новому стилю в теоретической физике XX в. положил Эйнштейн. В нашей стране этот стиль формировался в 30-е годы. Наиболее известным его воплощением стал курс теоретической физики Л. Д. Ландау и Е. М. Лифшица, замысел которого возник именно тогда. В формировании нового стиля участвовал и М. П. Бронштейн. Для этого стиля характерно освобождение от чересчур тесных рамок индуктивного построения теории (от фактиков к фактам, от фактов к законам, от законов к принципам), при этом нисколько не уменьшалась роль эксперимента как подстрекателя и одновременно судьи теории. С одной стороны, активно используются соображения симметрии, инвариантности, даются физически наиболее общие постановки проблем и методы их анализа, а с другой стороны, выявляется физическое содержание задачи, физические характеристики, существенные для данной ситуации. Резко повышался уровень математизации теории, но физика не подменялась математическим формализмом, скорее математические понятия пропитывались физическим смыслом. Этот стиль играл определяющую роль в теоретической физике XX в., и только в последнее время появляются некоторые признаки того, что может возникнуть стиль новый.

Лекции Бронштейна во многом характеризовал подход, известный по курсу Ландау—Лифшица. И в интенсивном его общении с Ландау существенное место занимали педагогические проблемы. При этом речь шла не только о теоретической педагогике, поскольку оба активно занимались педагогической практикой и педагогическим экспериментом. С Бронштейном

Ландау обсуждал идею теорминимума — минимального запаса знаний, необходимого теоретику. Возможно, в этих обсуждениях и родился замысел курса теоретической физики, который обеспечил бы теорминимум учебниками, написанными с единых позиций и в едином стиле. В пользу такого предположения говорит то, что в противоположность Ландау Бронштейн был человек пишущий (и пишущий очень хорошо). Ландау, по свидетельству знавших его, уже с начала 30-х годов поставил цель — создать в нашей стране самую передовую теоретическую физику. Теорминимум и курс были главными средствами в достижении этой цели.

Первоначальный замысел курса не предполагал, что все тома будут написаны одним и тем же автором или авторами. Том механики, первый по порядку в курсе, Ландау поручил писать Л. М. Пятигорскому — одному из первых своих аспирантов. По свидетельству Пятигорского, Ландау написал оглавление будущей книги и тщательно редактировал рукопись, добиваясь лаконизма и точности (как подчеркивает Пятигорский, самым существенным книга обязана именно Ландау). И слова на контртитулах первых выпусков курса «Под общей редакцией Л. Д. Ландау», видимо, отражают предполагавшееся разнообразие авторов при единстве общего подхода к материалу. Однако «Механика» была подготовлена и вышла в свет позже второго тома курса — «Статистической физики».

А учебник статистической физики, в котором ощущалась особенно большая нужда, взялся писать Бронштейн. В основу изложения, в отличие от имевшихся книг, был положен наиболее общий метод статистической физики — метод Гиббса.

Осталось, можно сказать, вещественное свидетельство педагогического сотрудничества Бронштейна и Ландау. У Я. А. Смородинского в домашнем архиве хранятся три тоненькие ученические тетрадки, на обложке каждой из которых написано «М. П. Бронштейн и Л. Ландау. Статистическая физика (конспект по рукописи)». Тетради эти имеют точную примету времени: на обложке стихотворение Лермонтова «Смерть поэта» и репродукция картины А. Наумова «Дуэль Пушкина» — в феврале 1937 г. отмечалось столетие со дня смерти Пушкина.

Происхождение этого конспекта таково. В 1937 г. Я. А. Смородинский, тогда третьекурсник Ленинградского университета, обратился к своему лектору М. П. Бронштейну с просьбой дать тему для научной работы. Матвей Петрович, расспросив его, сказал, что для научной работы ему необходимо «образоваться» в статистической физике, и дал для изучения (на небольшое время) отпечатанную на машинке рукопись. Конспект

содержит три главы: I. Введение (в котором описывается понятие вероятности состояний и задачи статистики). II. Идеальный газ и III. Общий метод статистики. В этой части рукописи выявляется физическая сущность основных положений статистической механики и строится система статистического подхода. По свидетельству Е. М. Лифшица [173, с. 295], Ландау приехал в Харьков из Ленинграда уже с замыслом курса, из Ленинграда он также привез указанную рукопись «Статистической физики». Однако соответствующий том курса, по словам Лифшица, был написан заново (по воспоминанию Пятигорского, в этом томе, кроме рукописи Бронштейна, был использован конспект лекций Ландау, сделанный А. С. Компанейцем)[64].

« Статистическая физика» была вторым томом курса, следуя за «Механикой». Поэтому квантовая статистика в нее не вошла. Трудно сказать, собирался ли Бронштейн включить квантовую статистику в книгу (что было сделано в переиздании курса и что сейчас кажется совершенно естественным). Можно, однако, сказать, что к этому Бронштейн был вполне готов. Для второго тома «Физического словаря», который вышел в 1937 г., он написал статью «Квантовая статистика» [42] (сохранилась в отдельных экземплярах). Для читателя, которому последняя фраза кажется загадочной, расшифруем ее, давая заодно представление о находках, подстерегающих историка в 30-х годах.

Как-то раз сидит этот историк в читальном зале одной из центральных библиотек и просматривает (не впервые) 5-томный «Физический словарь», выходивший в 1936—1939 гг. Ему известно, что первый и только первый том словаря содержит статьи Бронштейна. Историка это не удивляло до тех пор, пока он не заглянул в выходные данные второго тома и увидел, что том подписан к печати 30.3.1937, т. е. за четыре месяца до ареста Матвея Петровича. Почему же там нет его статей? Еще не зная для чего, историк просматривает «подозреваемые» статьи тома и ... замечает имя своего героя! Оно стоит в конце статьи «Квантовая статистика». Но какая странная это статья — у нее одно начало и два конца и соответственно два автора. Соседние страницы имеют одинаковые номера. Внимательный осмотр подтверждает естественную гипотезу: перед историком место так называемой выдирки и вклейки. Пятьдесят лет назад рабочий типографии допустил брак — недовыдрал один лист, наверняка случайно и скорей всего в одном лишь экземпляре из тысяч. Ведь, оставив часть статьи, а главное — фамилию врага народа, этот рабочий подвергал себя большой опасности. Но благодаря бракоделу историк получил уникальную возможность

представить себе обстановку 1937 года — последнего года жизни многих замечательных людей.

Вот молодой физик, который послушно пишет статью точно заданного объема, чтобы заменить статью коллеги, выбывшего из рядов. Вернее сказать, не пишет, а дописывает, начиная с полуслова (издательство, видимо, хотело сэкономить один лист выдирки). Подхватил, как говорится, факел знания.

Вот автор статьи «Квантовая электродинамика» — В . А. Фок, который в корректуре видел хорошо знакомое имя автора предыдущей статьи, а в готовой книге видит имя совсем другое.

И вот Матвей Петрович Бронштейн, который эту книгу уже никогда не увидит, который заперт в тюремной камере, настолько переполненной, что спать — проводить ночь — приходится на цементном полу. А днем, в «свободное» время, он для товарищей по судьбе читает лекции. На самые разные темы: Древняя Греция, Великая французская революция, астрономия и т. д. Вряд ли только приходилось рассказывать о квантовой статистике — аудитория не та...

Но вернемся на несколько лет назад, когда Матвей Петрович в университете читал лекции и по квантовой статистике, и по другим разделам физики. Выступал он и перед гораздо более широкой аудиторией. Составить представление о его педагогическом таланте, о даре объяснять можно по его научно-популярным работам. Самые крупные из них вышли в 1935 г.

В книге «Атомы, электроны, ядра», предназначенной для старших школьников, рассказывается о развитии атомизма. О педагогических достоинствах этой книги, а проще говоря,— о том, насколько она увлекательна, как просто и емко говорится в ней о физике атома, свидетельствует ее переиздание спустя 45 лет, в качестве первого выпуска «Библиотечки "Квант"».

Книга «Строение вещества» написана для более взрослого читателя, стремящегося к знаниям целенаправленно. По словам ее автора, «Цель этой книжки — изложить в простой и понятной форме учение современной физики о строении вещества. Это учение нельзя считать чем-то окончательно установленным и завершенным: каждый год приносит физике новые открытия, иной раз заставляющие нас подвергнуть самой радикальной переделке наши представления об устройстве физического мира. Поэтому книга о современной физике и не должна стремиться к тому, чтобы дать «моментальный снимок» физической теории в настоящее время; наоборот, она должна показать физическую теорию в ее изменении и развитии, так, чтобы стало понятным *направление* этого развития. К этому и стремится книжка, в которой описывается учение о строении вещества, начиная от

Демокрита и Джона Дальтона и кончая новейшими открытиями в области физики атомного ядра» [81, с. 3].

Пролистав эту книгу, трудно поверить, что столь огромный объем сведений мог поместиться в ней. В книге четыре главы: «Атом и молекула», «Электроны и ядра», «Кванты» и «Вселенная». Фактически это курс общей физики, только с центром тяжести, непривычно сильно смещенным к современности, поскольку рассказывается и о теории относительности, и о квантовой механике, о квантовой химии и о космологии. Однако этому предшествует изложение классической механики и электромагнетизма. Так что в целом это вполне систематический курс, математический аппарат которого ограничен четырьмя действиями арифметики. И не удивительно, что книга использовалась в вузах и студентами, и преподавателями. Приведем несколько выдержек, показывающих, как М. П. Бронштейн писал о трудных и тогда еще совсем новых физических идеях.

Объяснив относительность понятия одновременности, он замечает: «Этот результат может показаться странным тому, кто относится к понятиям времени и пространства метафизически, как к понятиям, предшествующим всякому опыту, т. е. как к очкам, сквозь которые мы обязаны смотреть на природу независимо от того, какими свойствами она в действительности обладает. На самом же деле мы не имеем права отрывать понятия пространства и времени от материальных тел, наполняющих природу; поэтому законы пространства и времени и даже самая возможность применять понятия пространства и времени являются лишь частью общей системы законов поведения материальных тел; эти законы никогда не могут быть угаданы заранее (т. е. до опытов и научных исследований), а потому, какими бы они ни казались нам удивительными (в силу привычек и предрассудков, сформировавшихся под влиянием повседневного опыта, область которого неизмеримо более узка, чем область научного опыта вообще), мы обязаны их принимать и в соответствии с ними переделывать наши мыслительные привычки».

Указав, что сходство между механикой электрона и законами распространения волн довольно поверхностно, Бронштейн разъясняет: «В связи с этим становится совершенно очевидным, что вопрос, часто разбираемый в популярных книжках, «есть ли электрон частица или волна», можно ставить только по недоразумению. Ведь волна есть процесс, а электрон есть вещь; отсюда ясно, что электрон не может быть волной; с другой стороны, утверждение о том, что электрон есть элементарная

частица, имеет только тот смысл, что ни при каких условиях и никогда нельзя наблюдать дробную долю электрона, и в этой форме такое утверждение безусловно правильно. Поэтому ответом на пресловутый вопрос будет то, что "электрон есть частица, подчиняющаяся волновой механике"».

Обсуждая элементарность протона и нейтрона в связи с бета-распадом, он приходит к выводу: «В природе имеют место соотношения, выходящие за пределы наших наглядных представлений о том, каким образом целое может состоять из частей». Этот вывод получил еще более сильное подтверждение в наше время, когда физическим фактом стала кварковая структура адронов.

6.3. Наука и литература

В 1935 г. вышли последние научно-популярные работы М. П. Бронштейна. Однако это не значит, что его литературный дар иссяк. Просто он нашел другой выход — выход в большую литературу. Книги Бронштейна, написанные в последние два года его жизни, предназначались прежде всего детям, но, как известно, « настоящность» литературы не зависит от возраста предполагаемых читателей.

В 20—30-е годы наука вызывала большой интерес у литературы. Герой Платонова откармливал электроны, булгаковский Воланд успешно применял пятимерную теорию. Расцвела научная фантастика. Даже роман Л. Никулина, действие которого разворачивалось (согласно аннотации) «в годы реакции 1907—1911 гг.», получил название «Время, пространство, движение», более подходящее для книги о теории относительности. Во всем этом отражалось заметно повысившееся общественное положение науки и техники (о чем уже не раз говорилось по другим поводам).

О строительстве нового общества, о роли знаний в этом процессе и о задачах литературы много думал тогдашний писатель № 1 — Горький. Он, получивший образование самоучкой или — точнее — книгоучкой, считал взаимодействие ученых и писателей особенно плодотворным в литературе для детей. «Вопрос о темах детских книг — это, разумеется, вопрос о линии социального воспитания детей»,— так начинается статья Горького 1933 г. «О темах». В центре статьи — создание новой детской книги, посвященной «художественной популяризации научных знаний». По мнению Горького, «не должно быть резкого различия между художественной и научно-популярной книгой», и это возможно «только при непосредственном участии подлинных работников науки и литераторов высокой словесной техники». Авторами такой книги могут и должны быть лучшие научные работники, а не безличные посредники-компиляторы...». Кончается статья призывом тщательно рассмотреть намеченную схему работы, «для чего следует немедля организовать группу молодых ученых и литераторов».

В 1933 г. в Физико-техническом институте состоялось несколько встреч между ленинградскими писателями и учеными. В отчетах об этих встречах в газете «Литературный Ленинград» упоминаются М. М. Зощенко, В. А. Каверин, Б. А. Лавренев, Л. М. Леонов, С. Я. Маршак, Ю. Н. Тынянов, К. И. Чуковский; науку представляли физики Я. Г. Дорфман, А. Ф. Иоффе, Н. Н. Семенов,

Я. И. Френкель, математики Б. Н. Делоне, М. Л. Франк. Младшему поколению в этих отчетах уделено лишь «и др.»; вероятно, среди этих «др.» был и М. П. Бронштейн. На встречах обсуждалось сходство и различие двух типов творчества — научного и художественного, обсуждалось, как надо писать о достижениях науки, как «вводить» ученых в повести и романы — в жизнь тогда наука вторгалась (посредством техники) и без помощи литературы. Обсуждалась также идея совместного альманаха (реализованная много лет спустя в известных ныне сборниках «Пути в Незнаемое»). Одним из следствий таких встреч стала публикация повести Я. Г. Дорфмана «Магнит науки» в литературном альманахе «Год шестнадцатый», в редколлегию которого входил Горький.

Можно было бы думать, что другим следствием такого рода оказалось приобщение М. П. Бронштейна к научно-художественной литературе для детей. Однако путь Бронштейна к детской литературе был прямее.

Его жена — Лидия Корнеевна Чуковская — работала в Ленинградском Детиздате. Она редактировала все три научно-художественные книги Бронштейна. А главным редактором этих книг был С. Я. Маршак [298].

Рождение самого жанра научно-художественной детской книги обязано в большой степени Маршаку. Горьковская программа для детской литературы — плод их совместных обсуждений; в письме Маршак сообщал: «Последние дни я много работал, обдумывали с Алексеем Максимовичем темы для детской литературы, главным образом популярно-научной» [248]. Много позднее он вспоминал: «Нас увлекало то, что в детской литературе элементы художественный и познавательный идут рука об руку, не разделяясь, как они разделились во взрослой литературе» [236, с. 171]. Однако поиск авторов, способных объединить эти два элемента, был делом очень нелегким, напоминающим кладоискательство. Автор должен быть профессионалом, чтобы его рассказ основывался на подлинном жизненном опыте, на собственных переживаниях. В то же время он должен был стать профессионалом в литературе, чтобы суметь переплавить свой жизненный опыт в книгу, интересную для непрофессионалов (к тому же очень юных). Таких авторов, легко понять, немного. Удивительно, что Маршак их все-таки находил.

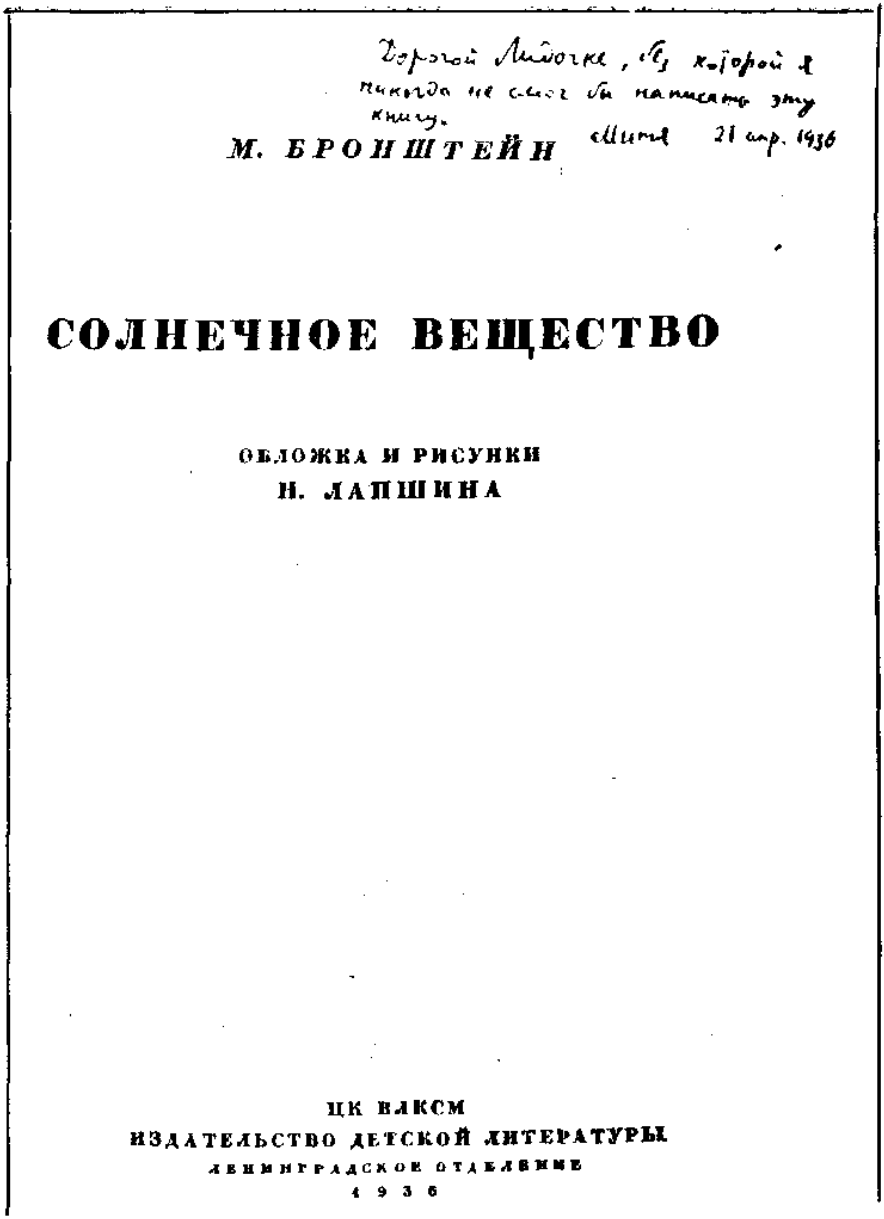
И Бронштейна «нашел» Маршак. Познакомившись с Матвеем Петровичем и влюбившись в него (как влюблялся во все свои находки), Маршак понял, что этот молодой физик мог бы написать книгу для детей. Увлеченный созданием новой, научно-художественной, детской книги, он умел увлечь и других.

Подчинить текст не только логике научной мысли, но и логике чувств и логике звуков — задача научно-художественного сочинения. Сплавить три логики в одну, сделать их тремя проекциями единой логики литературного произведения — эта задача увлекла Бронштейна. Увлекла настолько, что, отнюдь не страдая от бездеятельности, он потратил много сил на первую свою книгу, вышедшую в маршаковской редакции.

Он быстро выбрал тему, позволяющую показать науку «не как склад готовых открытий и изобретений, а как арену борьбы, где конкретный живой человек преодолевает сопротивление материала и традиций» [174]. Эта тема — спектральный анализ. Однако набросок первых глав, который автор сделал со свойственной ему легкостью пера, Маршака не удовлетворил. Понадобилась большая работа редактора и автора, чтобы найти сюжет — историю открытия гелия, ключевые слова — «солнечное вещество» и, главное, чтобы автор выработал собственную литературную точку зрения на текст.

В предыдущих научно-популярных работах Бронштейна можно найти и яркие метафоры, и эмоциональную интонацию, и абзацы, написанные живым, ритмически организованным языком. Но совсем рядом — тусклый язык и громоздкий синтаксис. Конечно, человек, целенаправленно ищущий знаний, мог и не заметить этих трудных мест, но они были бы непреодолимы для 13-летнего читателя, и без того ошеломленного сложностью мироздания. Для такого читателя язык произведения во всех масштабах, начиная от отдельного слова, должен быть очень точным, ясным и простым. И эта простота может быть результатом только большого труда. Точное слово — цель каждого литератора. Но в редакции Маршака поддерживался настоящий культ точного слова, точной интонации. Точность, конечно, соотносилась не с каким-то каноном, а с литературным своеобразием автора. Приблизительность вызывала у сотрудников Маршака почти физическую боль, каждое слово и каждый знак препинания должны были стать незаменимыми. Такое отношение к языку было новым для Матвея Петровича, но он его быстро освоил.

Литературный талант, или, проще, способность к литературной работе не изолированы от других свойств личности. В бронштейновском таланте лектора сложились его чувство композиции, умение организовать материал, богатство и свобода языка, понимание психологии восприятия. А ведь это все необходимые составляющие профессии литератора.


Дорогой Лидочке, без которой я никогда не смог бы написать эту книгу.
М. БРОНШТЕЙН Москва 21 апр. 1936

СОЛНЕЧНОЕ ВЕЩЕСТВО

ОБЛОЖКА И РИСУНКИ
Н. ЛАПШИНА

ЦК ВЛКСМ
ИЗДАТЕЛЬСТВО ДЕТСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
ЛЕНИНГРАДСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
1936

Титульный лист «Солнечного вещества» с дарственной надписью Л. К. Чуковской

Не следует, однако, преуменьшать новизну и трудность задачи, вставшей перед Матвеем Петровичем. Его лекции и доклады слушали взрослые люди, имевшие уже изрядный запас знаний и стремящиеся пополнить его. А теперь он пишет для 13-летнего человека, который «хочет все знать», но знает пока еще очень мало. Правда, писать для такого человека Бронштейну в

некотором смысле и легче. Юный читатель психологически ему ближе «нормального» взрослого, чьи мысли заняты благоустройством своего быта. Потому что люди, подобные Матвею Петровичу, сохраняют бескорыстный интерес к окружающему миру, интерес, который в первые полтора десятилетия жизни присущ каждому и не подчинен еще карьерным соображениям, заработку и т. п. Но, несмотря на такую близость к читателю, на первую свою научно-художественную книгу Матвей Петрович потратил много сил. Ко всем задачам, за которые он брался, он относился всерьез (впрочем, в редакции Маршака иное отношение было невозможно). А. И. Ансельму, к примеру, он признавался, что для «Солнечного вещества» полгода читал старые журналы. О трудоемкости этой книги говорит и большое различие между первым ее изданием в «Костре» (1934) и окончательным текстом, опубликованным сначала в горьковском альманахе «Год восемнадцатый» и затем отдельной книжкой в 1936 г.

Зато результат большой работы получился замечательным. Мы не станем пересказывать эту книгу. Как и всякое произведение подлинной литературы, «Солнечное вещество» в сущности пересказу не поддается. «Я расскажу о веществе, которое люди нашли сначала на Солнце, а потом уже у себя на Земле»,— так начинается книга. Трудно представить человека, который, прочитав эту фразу и просмотрев оглавление, не захотел бы узнать, что содержится в маленьких главках, «Цветные сигналы», «Неудача», «Простой кусок стекла», «Сигналы расшифрованы», «Пепел, гранит и молоко» и т. д.

Был доволен книгой и Маршак. Не случайно он написал для нее предисловие [235], которое по сути было программой детской научно-художественной книги. Новый литературный жанр противопоставлялся прошлому, когда, по словам Маршака, ремесленники научно-популярного цеха, мало верившие в увлекательность самой науки, придумывали всевозможные аттракционы, чтобы сделать свой предмет занимательным:

«Лукавая и фальшивая дидактика нам не к лицу. Мы уважаем науку и уважаем ребенка. Мы помним особенности детского возраста, но это обязывает нас не к упрощению, а к простоте, к последовательности и ясности мысли. Конечно, ребенок требует от книги занимательности, но занимательность должна быть достигнута не посторонними средствами, не развлекательными интермедиями, а самой сущностью книги, ее темпераментом, ее идейным богатством. А это возможно только тогда, когда автор сам увлечен научной проблемой, когда он имеет право свободно и уверенно, по-хозяйски, распоряжаться своим научным

материалом». При этом автор должен обходиться без терминов там, где это возможно,— «такое умение дается лишь тому, кого точность научных формулировок не отучила навсегда от живой речи». И тогда научную книгу для детей «можно и должно мерить меркой, приложимой ко всем видам художественной литературы».

Впоследствии Маршак писал: «В работе с Бронштейном мне дорого одно воспоминание. Полная неудача в работе с Дорфманом, который был не только физик, но и профессиональный журналист, и полная удача с Бронштейном. То, что делал Бронштейн, гораздо ближе к художественной литературе, чем журналистика Дорфмана, у которого одна глава якобы беллетристическая — салон мадам Лавуазье,— а другая — совершенная сушь» [236, с. 173].

Поэтому Маршак счел вполне уместной публикацию детской книжки Бронштейна во «взрослом» альманахе (рядом с набросками неоконченного романа Л. Толстого). Книжка просто-напросто была интересна и взрослым. Так полагал Маршак. А вот мнение К. И. Чуковского: «В качестве детского писателя я могу засвидетельствовать, что книги Бронштейна «Солнечное вещество», «Лучи Икс» и другие кажутся мне превосходными. Это не просто научно-популярные очерки — это чрезвычайно изящное, художественное, почти поэтическое повествование о величии человеческого гения. Книги написаны с тем заразительным научным энтузиазмом, который в педагогическом отношении представляет собой высокую ценность. Отзывы газет и журналов о научно-популярных книгах Бронштейна были хором горячих похвал. Меня, как детского писателя, радовало, что у детей Советского Союза появился новый учитель и друг. Я убеждал М. П. Бронштейна писать для детей еще и еще, так как вдохновенные популяризаторы точных наук столь же редки, как и художники слова» [167, с. 357].

С писателями, совсем не искушенными в физике, был согласен и Ландау, сказавший в предисловии к переизданию «Солнечного вещества» 1959 г.: «Эта книга написана с такой простотой и увлекательностью, что читать ее, пожалуй, равно интересно любому читателю — от школьника до физика-профессионала. Раз начав, трудно остановиться и не дочитать до конца»[65].

В хоре горячих похвал, о котором писал Чуковский, прозвучали голоса «Правды», «Комсомольской правды» [191, 272], газеты «Литературный Ленинград», журналов «Детская литература», «Красная деревня», «Литературный современник», «В помощь сельскому библиотекарю и читателю», «Что читать?» и т.

д.

Очень подробную рецензию опубликовал в «Молодой гвардии» Г. Б. Адамов (автор научно-фантастического романа «Тайна двух океанов») [88]: «Эта книжка — ясная, легкая, светлая — написана для детей советским ученым, специалистом-химиком. На редкость удачно и счастливо в одном лице совместились здесь глубокое знание предмета с большим литературным дарованием. Нужно быть хозяином в своей области, легко и непринужденно отбирающим все необходимые ему факты и явления из неисчерпаемых хранилищ своей науки, и нужно быть одновременно незаурядным, талантливым рассказчиком, чутким к слову и фразе, чтобы так ясно и увлекательно, мы бы сказали — так вкусно и аппетитно, подать нашим детям столь трудную тему из истории физики и химии». Чтобы сделать характеристику более убедительной, рецензент поместил даже одну главку из книги целиком.

Труднее узнать мнение главных рецензентов,— ведь в 12 лет рецензии не пишут. Но одно такого рода свидетельство мы все же приведем. Принадлежит оно ровеснику «Солнечного вещества», ныне астрофизику, профессору Ленинградского университета В. В. Иванову, который по просьбе авторов этой книги прокомментировал ранние астрофизические работы Бронштейна (см. разд. 2. 4). Перед тем как охарактеризовать полученный в 1929 г. результат (соотношение Хопфа— Бронштейна), он рассказал о своем личном восприятии его.

В конце 50-х годов он был аспирантом и занимался теорией переноса излучения. Знакомясь с предшествующими работами, добрался до классической книги Хопфа (1934) [294], в конце которой есть короткий список работ. Там среди фамилий известных ему (и знаменитых) был какой-то M. Bronstein:

«Это имя было мне откуда-то знакомо. Откуда? Ну, конечно, в знаменитой книге Чандрасекара (1950) «Перенос лучистой энергии» имеется соотношение Хопфа—Бронштейна, но нет, дело не только в этом. И вдруг я понял: это тот самый М. П. Бронштейн, статьи которого в сборнике "Проблемы космической физики" (середина 30-х годов) есть у меня дома — значит, наш. Еще немного — и произошло "короткое замыкание": я вдруг понял, что это тот самый Бронштейн, который написал чудесную книгу "Солнечное вещество". В первые послевоенные годы, думаю, в году 47-м, я взял ее в библиотеке детского сектора Ленинградского клуба ученых и прочел сразу, взахлеб, не отрываясь. Я тогда читал по астрономии все сплошь — уже решил стать астрономом. Сейчас не помню почти ничего про то, что читал, ни названий, ни авторов, но эта удивительная книга меня

тогда поразила. Итак, соотношение Хопфа—Бронштейна (термин, введенный Чандрасекаром) — это соотношение *моего* Бронштейна, того самого, который своим "Солнечным веществом", возможно, определил мою судьбу — не прочти я этой книги, возможно, не стал бы и астрофизиком».

После «Солнечного вещества» Бронштейн написал еще две книги для детей — «Лучи Икс» и «Изобретатели радиотелеграфа», уже почти без редакторской помощи [298, с. 293]. Так что профессию детского писателя он освоил очень быстро.

Обратим внимание на то, что темы для детских книг Матвей Петрович выбирал довольно далеко от области собственных научных занятий: экспериментальная физика, химия, техника (как мы видели, внимательный рецензент даже назвал автора «Солнечного вещества» специалистом-химиком). И здесь он не искал легкого пути, ведь для художественного описания необходимы точные, достоверные детали, а добывать их приходилось не только из памяти, но и специально изучая литературу[66].

В этом проявилось очень серьезное отношение М. П. к своей литературной работе. Выбранные им темы были для детей гораздо доступней и полезней, чем приключения в теоретической физике. На теоретические темы Бронштейну, разумеется, было бы легче писать, но полноценное восприятие их предполагает достаточную взрослость читателя, способность к абстрактному мышлению и хорошо усвоенную истину, что физика — наука экспериментальная.

В наше время научно-художественные книги пишут не только (и даже не столько) в расчете на детскую аудиторию. Нет сомнений, что Бронштейн много интересного о смысле и драматизме науки мог рассказать также и взрослым. И тем, кому жизнь науки понятна не более, чем фильм или даже радиоспектакль на неизвестном языке, и тем, чья жизнь связана с наукой. Этого он сделать не успел. Однако рассказывать о науке юным читателям не только более сложное, но и гораздо более ответственное дело, если иметь в виду возможные его последствия. Кроме того, повторим еще раз вслед за многими, что детские книги М. П. Бронштейна — достояние Литературы, предназначенной всем. Не случайно один из нынешних мастеров научно-художественной литературы Д. Данин, размышляя об определении и самоопределении научно-художественного жанра [176], в качестве образца взял «Солнечное вещество».

6.4. Личность

Каким человеком был тот, в ком жили столь обширные знания, острый ум и таланты? Отдельные штрихи личности угадываются в событиях творческой жизни Бронштейна, о которой рассказывалось в предыдущих главах. Воссоздать же целостный человеческий образ можно только художественными средствами. Попытаемся хотя бы эскизно обрисовать облик Матвея Петровича, ограничиваясь возможностями истории, опираясь на свидетельства и документы.

Всем известна задача из школьного курса черчения — по двум проекциям предмета построить третью и вместе с тем составить объемное представление об этом предмете. Составить представление о личности М. П. Бронштейна на основании даже гораздо большего количества проекций — дело очень сложное. Потому что не только разные проекции — то, как М. П. виделся разным людям,— противоречат одна другой, противоречивы и некоторые проекции в отдельности. Это следствие сложного и гармоничного устройства интересующего нас предмета. Говоря о личности М. П., уместнее вспомнить не фигуры трехмерной или даже многомерной геометрии, а, скорее, объекты квантовой физики, «проекции» которых, как известно, существенно зависят от экспериментальной ситуации в целом. Поддаваясь этой аналогии, попытаемся охарактеризовать человеческую индивидуальность М. П. с помощью парных, сопряженных качеств.

А. И. Ансельм помнит Бронштейна и ершистым, и скромным (письмо Г. Е. Горелику от 26.4.1984 г.). Как-то М. П., узнав, что Ансельм проводит отпуск, путешествуя на лодках по Днепру, попросил взять и его с собой. «А плавать вы умеете? — спросил Ансельм.— А то еще утонете — отвечай потом перед наукой!» — «Ну, перед наукой вам отвечать не придется,— успокоил М. П.— Я ведь не Ландау. Я более педагог, чем ученый».

Бронштейн считал творческий потенциал Ландау явно большим своего, но ложной скромности у него не было. Он не склонен был особенно преуменьшать свои возможности и обладал достаточной уверенностью, чтобы, продумав вопрос, твердо высказать свое мнение, даже «вопреки мнению столь авторитетных физиков, как Нильс Бор и П. Дирак» [81, с. 218].

А. Б. Мигдал, которому в последний год жизни Бронштейна довелось быть его аспирантом, вспоминает, каким он казался слабым и сильным. В бытовых ситуациях, где теоретическая физика не главный компонент, скажем, в трамвайной давке, у

крепкого от природы аспиранта невольно возникало желание поддержать под руку, оградить от толпы этого отнюдь не богатырского вида человека. Но ничего подобного такому желанию не возникало, когда Матвей Петрович стремительно выходил к доске или с места азартно включался в дискуссию, фехтуя логикой и остроумием. Тогда становились незаметны его небольшой рост и легкое заикание. Незаметны, впрочем, для тех, кто сам был погружен в события, происходящие на доске и «за ней». А тому, кого эти события интересовали лишь постольку-поскольку, могла показаться весьма комичной картина, как этот «Маленький» (под таким именем вывел его В. Б. Берестецкий [134]) отважно набрасывается на оппонентов, геометрически гораздо более крупных. И этот же — посторонний — наблюдатель должен был удивиться, что маленького роста не замечает сам его обладатель.

Матвей Петрович не отличался крепким здоровьем, несколько раз переболел воспалением легких; но здоровый дух старался сделать здоровее и тело: он с увлечением играл в теннис, учился грести, плавать, ездить на велосипеде.

В Бронштейне можно было увидеть и солидность, и мальчишество. Его называли по имени-отчеству даже многие близкие знакомые, к примеру сестры Канегиссер. И это не казалось странным. Он рано повзрослел, и взрослые манеры не стесняли его. В житейской обстановке, не связанной с наукой, у него была несколько старомодная или провинциальная вежливость, даже учтивость. Он не умел сидеть в присутствии стоящей женщины, была ли это подруга жены или домработница. По привычке, воспитанной еще в родительском доме, всегда был чисто выбрит, причесан и аккуратно одет; обычны были галстук и тройка. Это видно по фотографиям. (Такие внешние и внутренние признаки способствовали закреплению прозвища «Аббат».)

Но фотографии сохранили и другое: плюшевый мишка в руках, косынка на голове. Еще лягушонок на шарже, сделанном во время ядерной конференции 1933 г. Лягушонок был изображен на повязке М. П., которую он носил как секретарь конференции («физический смысл» этого неизвестен).

Мальчишество, насмешливое и резвящееся, было ему присуще так же органически, как и «взрослая» вежливость, только проявлялись они в разных ситуациях. У Д. Д. Иваненко сохранилась открытка, написанная Бронштейном и отправленная 6.11.1934 из Самарканда, где он и Ю. А. Крутков читали лекции:

«Иншаллах! Салам! Димус, отправляясь из Самарканда в Бухару и увидя на вокзале эту открытку, вспомнили о Вас (тебе). Не щадя затрат, закупили и посылаем. Впрочем, остаемся к Вам

благосклонны.

Ю. Крутков, М. Бронштейн. 9ого рамазана 1354 года Гиджры»

(на открытке — репродукция картины Ватагина «Горилла»).

Горячая преданность науке, поиску истины заставляли Бронштейна забывать об учтивости, когда речь шла о научной истине. Он внимательно и терпеливо встречал добросовестные вопросы. Но если видел претензии на глубокое понимание без особых на то оснований, да к тому же если претендента природа обделила чувством юмора, то мог быть и ехидно-колючим. Мог, например, специально для незадачливого претендента виртуозно доказать какое-нибудь утверждение, а получив согласие, неумолимо опровергнуть собственное доказательство под смех болельщиков. В кукольной пьесе, которая шла после ядерной конференции 1933 г беспощадно вышутил всех докладчиков подряд.

Он не был «дамой, приятной во всех отношениях»; и не считал себя обязанным нравиться каждому. Как всякая яркая личность, М. П. не у всех вызывал равно добрые чувства. Кого-то раздражала невероятная эрудиция, кому-то было неуютно от свободного его поведения и неуемной иронии. Кое-кто из пострадавших от его насмешливости сохранил и недобрые чувства к нему. Однако иронию он легко направлял не только на других, но и на себя, и поэтому большему числу людей М. П. запомнился доброжелательным и деликатным. За границей применимости этих качеств оказывались носители воинствующего невежества и догматизма. В этих случаях М. П. за словом в карман не лез, выражений особенно не выбирал и не осторожничал, где бы ни находился,— в научном собрании, в трамвае или в кабинете директора издательства. Испытавшие на себе сарказм Бронштейна, естественно, могли приписать ему злонамеренность, что в подобных случаях было не так уж далеко от истины.

С другой стороны,— с совсем другой стороны,— студенты Бронштейна вспоминают, что он был к ним добр, не был требовательным экзаменатором, удивлялся, когда студент обнаруживал знания, и щедро ставил пятерки. Он хорошо понимал, что научить физике нельзя, можно только помочь научиться и что в этом деле поощрение более полезно, чем взыскание.

Такое мягкое отношение, впрочем, уравновешивалось высоким чувством ответственности за физическую науку и за судьбу молодого человека, избирающего ее своей профессией. Бывало, М. П. видел, что студент не создан для теоретической физики, а идет туда по инерции, обусловленной

биографическими обстоятельствами. Разглядеть это бывает нелегко в человеке добросовестном и не лишенном способностей, но Бронштейн был достаточно зорок и в таком случае говорил, что видел, прямо и недвусмысленно. В этом он отличался от Я. И. Френкеля, который по мягкости характера и беспредельной доброте исходил, казалось, из того, что любой человек может стать физиком-теоретиком [139, с. 121]. Впрочем, доброта была и во взыскательном отношении М. П. к выбору человеком профессии. Ведь чем раньше осознается несоответствие избранному пути, тем больше возможностей найти подлинное призвание.

Профессия налагает отпечаток даже на богатую личность. Физику-теоретику бывает трудно и в «нефизических» сферах жизни обойтись без теорий и классификаций. Известна склонность к этому у Ландау. «Теоретизирование в быту» не было чуждо и Бронштейну. Каждодневно занимаясь тщательным анализом физических ситуаций и стремясь доходить в них до сути, он умел и на жизнь — на поступки и чувства людей — смотреть в ярком свете рационализма, не знающего преград. Порожденные таким взглядом суждения Матвея Петровича бывали иногда весьма резкими, для непривычного человека чуть ли не циничными. Однако на самом деле здесь скорее следовало бы сказать о кинизме. Слова эти эквивалентны только этимологически. Древняя философия, восходящая к Антисфену и Диогену, отличается от ее бытовой версии тем, что неподчинение киников общепринятым нормам основывалось на глубоких размышлениях о смысле « общепринятости ».

Но Матвей Петрович не только умел видеть окружающую реальность в жестком свете логики, он знал еще, что слишком жесткое излучение способно разрушать и убивать. И поэтому рационализм его не был беспредельным. На его палитре человеческих чувств и форм их выражения были очень разные краски, и он свободно ими пользовался. Например, в письме приятелю, жена которого должна была вскоре стать матерью, он вместе с приветом передал ей пожелание «благополучно окотиться», однако позаботился и о том, чтобы молодую мать по возвращению из роддома ждала корзина цветов. Он мог ехидно поддразнивать своих друзей и мог с неожиданной серьезностью сказать: «Это настоящий друг, который не предаст никогда».

Людям, живущим напряженной интеллектуальной жизнью, постоянно имеющим дело с теоретическими абстракциями, бывает свойственна некоторая если не оторванность, то отделенность от реальной жизни. Матвей Петрович чувствовал себя как дома в теоретических эмпиреях, жил там, а не просто

витал. Но и эмпирическая действительность была для него неустранимой компонентой жизни. Безрассудной его смелость не была. Смелость мысли, слова и поступка у него помнила о мире, в котором она действовала.

Знавшие Матвея Петровича наряду с его интеллектуальными качествами или даже прежде них единодушно отмечают его моральную чистоту. Пожалуй, только для этого качества в личности М. П. не найти сопряженного, парного. Надо только уточнить формы проявления его морали. Она была высокой, но не деспотичной. Бронштейн был, в сущности, очень терпим к людям (по мнению Ландау — даже слишком, и по этому поводу употреблялось прозвище «Аббатик»). Эта терпимость основывалась на глубоком понимании разнообразия людской породы. М. П., например, не судил человека строго, если видел, что тот имморален — не нарушает, а просто не замечает неписаных законов, находится вне их (как, например, ребенок). Но он был непреклонным, видя морально вменяемого человека, разнообразными (разумеется, уважительными) причинами оправдывающего низкие поступки.

Матвей Петрович был не из тех, кто может поступать вопреки собственным убеждениям. Например, он поддерживал весьма близкие отношения с двумя физиками, которые друг друга не выносили. Однако им ничего не оставалось делать, как терпеть это весьма необычное — «неравновесное» — положение, поскольку изменить ситуацию в свою пользу оба были не в силах.

Вспоминая о Бронштейне, мало кто обходился без эпизодов, которые можно назвать «...но истина дороже». Вот один такой.

1935 год. Докторская защита Бронштейна. Выступает В. А. Фок — его оппонент и за пять лет до этого университетский преподаватель. Безоговорочно высоко оценив диссертанта и его работу, Владимир Александрович высказал некое соображение, касающееся не столько самой диссертации, сколько теоретической ситуации в целом. Бронштейн возразил решительно, не используя никаких обычных в таких случаях формул вежливости. Он был совершенно не согласен с замечанием Фока и не считал нужным скрывать или маскировать свое несогласие в вопросе, который продумал. По свидетельству очевидцев, возражал Бронштейн так напористо, что стало неясно, кто здесь защищается.

Надо при этом иметь в виду, что Фока и Бронштейна связывали теплые отношения и глубокое взаимное уважение. Связывала их и работа в ЛФТИ, и преподавание в ЛГУ, где Фок заведовал кафедрой квантовой механики, а Бронштейн (языком отдела кадров) исполнял обязанности заведующего кафедрой

теоретической физики.

О том, что система ценностей Бронштейна имела общественное звучание, свидетельствует отрывок из его письма Фоку в апреле 1937 г.: «Я придерживаюсь того (несколько подозрительного по своему происхождению) взгляда, что "общественное благо выше частного блага". Не понимаю, как можно при обсуждении вопроса о том, кто будет учить физиков механике, принимать во внимание, что Н. — симпатичный человек и что он нуждается в деньгах. ... Н. настолько некультурен, что рассматривает преподавание как дань, которую должен заплатить государству научный работник для того, чтобы ему дали средства к существованию и возможность в свободное время заниматься научным творчеством (я намеренно оставляю в стороне вопрос о возможном качестве научного творчества самого Н., так как этот взгляд все равно неправилен и нечестен, независимо от того, высказывает ли его хороший или плохой ученый)» [99].

Первым, кто пришел в дом М. П. Бронштейна после его ареста, чтобы получить достоверные сведения, был В. А. Фок. А в марте 1939 г. одновременно с научной характеристикой Бронштейна, подписанной С. И. Вавиловым, Л. И. Мандельштамом и И. Е. Таммом, письмом С. Я. Маршака Генеральному прокурору СССР было направлено письмо В. А. Фока, которое мы приведем полностью (по копии, сохраненной Л. К. Чуковской):

«Прокурору СССР т. Вышинскому от академика д-ра В. А. Фока.

Многоуважаемый Андрей Януарьевич! Я присоединяюсь к ходатайству Лидии Корнеевны Чуковской о пересмотре дела ее мужа, бывшего доцента Ленинградского университета Матвея Петровича Бронштейна.

М. П. Бронштейн в своей научной деятельности проявил себя как талантливый молодой ученый, сделавший ценный вклад в советскую науку и обладающий исключительной эрудицией в области теоретической физики. Его докторская диссертация, посвященная общей теории относительности Эйнштейна, содержит результаты большой научной ценности. В своих работах по теории металлов и полупроводников он также дал много нового. Наконец, ему принадлежит ряд научно-популярных книг для юношества, исключительно высокое качество которых было отмечено в свое время в нашей центральной прессе.

В случае, если Вы найдете возможным удовлетворить ходатайство Л. К. Чуковской, прошу при пересмотре дела М. П. Бронштейна учесть большую ценность его как научного работника».

Не будем обольщаться надеждой, будто примененным мозаичным методом можно воссоздать живой облик Матвея Петровича Бронштейна. Даже если в мозаике применять элементы резко контрастирующих цветов. Все равно остались непокрытые места, а кое-где элементы мозаики наложились один на другой (объемности изображения это вряд ли способствует).

Автор биографии, говорят, должен любить своего героя, чтобы претендовать не просто на точность описания, а на подлинную жизненную точность. Но любовь бывает слепой к недостаткам. А у читателя розово-голубой, всецело положительный образ может вызвать недоверие и даже раздражение.

В нашем случае опасность была особенно велика. Кто-то сказал, что недостатки человека — это продолжение его достоинств. В соответствии с логикой, основанной на этом афоризме, у каждого должно быть ровно столько недостатков, сколько и достоинств. У нас ущербность такой логики обнаружилась очень явно. Сбиваясь с ног, мы выискивали недостатки в нашем герое, дабы сделать его образ более правдоподобным. Увы, результаты поисков оказались скудными: правдоподобие и правдивость — слова, имеющие общий корень, — однако... Это не означает, что нам не встречались нелестные для Бронштейна высказывания. Один его знакомый, например, утверждал, что он «был склонен не столько к юмору, сколько к цинизму»; другой — что «ум его был схоластическим и почти целиком тратился на ориентирование среди разнообразного хлама, которым была заполнена память»; третий свидетельствовал даже, что «у М. П. было очень много неприятных черт и он мог обидеть человека совершенно ни за что». Однако внимательное рассмотрение этих «обвинений», с учетом личности обвинителя и соответствующей ситуации, поворачивало отрицательные характеристики если не на 180, то на 90°.

Из всей же совокупности собранных сведений возникал облик жизнелюбивого человека чистых помыслов и душевной тонкости. Мы не раз возвращались к воспоминаниям о нем Евгении Николаевны Пайерлс: щедрая одаренность и деликатность, юмор и универсальное понимание, благожелательность и высокая мораль — об этих качествах нам говорили и другие. И, как мы убедились, добрые слова о Матвее Петровиче порождены вовсе не только горечью от сознания, что он стал жертвой страшного неестественного отбора, постигшего наш народ.

Эта книга, посвященная жизни и творчеству,— не место для подробного рассказа о чудовищно нелепых событиях, которые

обрушились на Матвея Петровича Бронштейна в августе 1937 г. Впрочем, полной неожиданностью тогда они уже не были. Осенью 1936 г. арестовали Н. А. Козырева и Ю. А. Круткова, которых Бронштейн знал слишком хорошо, чтобы допустить невероятное. А 1 августа 1937 г. в его квартиру пришли с ордером на обыск и арест. Обыск свелся к уничтожению его рукописей. Книги тоже были обысканы и арестованы. Самого Матвея Петровича в Ленинграде в это время не было. Он отправился в отпуск, заехав на несколько дней к родителям в Киев. Там его и арестовали. Произошло это глубокой ночью. Когда перед обыском ему предложили добровольно сдать оружие и отравляющие вещества, он рассмеялся. А уходя из дома, взял с собой только полотенце и сказал матери, что его билет на поезд сдавать не надо — он скоро вернется. Видимо, хотел ее успокоить...

Его перевезли в Ленинград. Случайная свидетельница видела, как его под конвоем, с полотенцем на шее, вывели из киевского поезда. В феврале 1938 г., отстояв в который раз огромную очередь, Л. К. Чуковская узнала приговор — десять лет дальних лагерей без права переписки и полная конфискация имущества. Она не догадывалась, что эта формулировка означала немедленный расстрел. Только в декабре 1939 г. удалось выяснить, что Матвея Петровича нет в живых. Точная дата гибели — 18 февраля 1938 г.— стала известна спустя двадцать лет. Реабилитирован М. П. Бронштейн в 1957 г.

Послесловие

Тяжело подводить итоги жизни, оборванной в тридцать лет. Много ли успел сделать Матвей Петрович Бронштейн? Взглянув на перечень его публикаций, подумав о физиках, которые у него учились, и о тех, для кого его книги открыли мир науки, легко убедиться, что сделал он немало. И все же, очевидно, гораздо большего он сделать не успел. Он только подошел к возрасту, самому плодотворному для физика. Как развивалась бы квантовая теория гравитации с его участием? Какие учебники, какие книги о науке он не успел написать?

Судя по последним его статьям, ему предстояло работать в квантовой теории поля, в космологии, в астрофизике, в ядерной физике. Разумеется, нет абсолютной уверенности, что ему суждено было сделать фундаментальные открытия — для этого требуется и везение. Однако, несомненно, он сыграл бы важную роль в развитии советской физики, потому что способности анализировать и катализировать физические идеи, как и талант педагога, меньше зависят от внешних условий.

По мнению знавших Матвея Петровича, его жизнь повлияла бы и на сами условия развития физики. Соединенные в нем научный авторитет, немолчаливая совесть и подлинная интеллигентность облагородили бы атмосферу, в которой живут, дышат теоретики — реальные люди, не сводимые к формулам. Состояние этой атмосферы не выразить в ощутимых физико-математических понятиях, но процесс рождения нового знания зависит от него ощутимо. Само присутствие Аббата могло бы удержать от низких поступков одного, укротить диктаторские наклонности другого, придать уверенность третьему. А ведь это все впрямую сказывается на научном «производстве».

Главные темы физических размышлений Бронштейна были связаны с квантовой механикой и теорией относительности — двумя столпами физической картины мира XX в. (правда, как мы уже знаем,

именно Бронштейн первым догадался, что на самом деле это — «две стороны *одного* столпа»). В квантовой теории фундаментальное положение занимает принцип неопределенности, в общей теории относительности — принцип эквивалентности. Первый мы уже внедрили в методологию биографического жанра— в предисловии к этой книге.

Теперь настал черед второго принципа. В нем коренятся фундаментальные для современной физики идеи геометризации и нелинейности взаимодействия. Нечто похожее на этот принцип

можно усмотреть и в развитии науки в ее собственном пространстве-времени. Концентрация знаний и духовной энергии влияет на рождение нового знания, меняет «геометрию» развивающейся науки. Эволюцией науки и ее революциями может управлять только очень нелинейная теория. А значит, воздействием каждой личности можно пренебречь лишь с точностью, определяемой ее творческой энергией. Единиц измерения творческой энергии пока не придумано. И это не случайно. В мире физических явлений вполне уважаемая и увлекательная цель — установить единство, научиться мерить все единой мерой. Эта цель, однако, перестает казаться заманчивой в мире людей — в мире, где уникальность личности обусловливает ее достижения.

Оставляя в покое научные формулировки, можем смело сказать: люди, подобные М. П. Бронштейну, рождаются, чтобы украсить род человеческий и осветить какую-то часть мироздания. Матвей Петрович, несомненно, съехидничал бы по поводу этих высоких слов,— вряд ли он ощущал себя украшением или светильником. И тем не менее свет его короткой жизни, преодолев полстолетия, дошел до наших дней.

Библиография

Принятые сокращения

ЖРФХО — Журнал Русского физико-химического общества.
ПЗМ - Под знаменем марксизма.

PZS - Physikalische Zeitschrift der Sowjetunion (издавался в Харькове в 1932—1938 гг.; названия статей, опубликованных в этом журнале, переведены на русский).

ZP - Zeitschrift fur Physik.

Работы М. П. Бронштейна

Научные статьи и обзоры

1. Об одном следствии гипотезы световых квантов // ЖРФХО. 1925. Т. 57. С. 321-325.

2. Zur Theorie des kontinuierlischen Rontgenspektrums // ZP. 1925. Bd. 32. S. 881-885.

3. Bemerkung zur Quantentheorie des Laue-Effektes // Ibid. S. 886-893.

4. Uber die Bewegung eines Elektrons in Felde eines festen Zent rums mit Berucksichtigung der Massenveranderung bei der Ausstrahlung // ZP. 1926. Bd 35. S. 234, 863; Bd. 39. S. 901.

5. Zur Theorie der Feinstruktur des Spektrallinien // ZP. 1926. Bd. 37. S. 217-224. _

6. Zum Strahlunhsgleichgewichtsproblem von Milne // ZP. 1929. Bd. 58. S. 696-699.

7. Uber das Verhaltnis des effektiven Temperatur der Sterne zur Temperatur ihrer Oberflache // Ibid. Bd. 59. S. 144-148.

8. К теории общей циркуляции атмосфе_ры // Журнал геофи зики и метеорологии. 1929. Т. 6. С. 265-292.

9. Квантование свободных электронов в магнитном поле. (Совм. с Я. И. Френкелем) // ЖРФХО. 1930. Т. 62. С. 485494.

10. On the temperature distribution in stellar atmospheres // Mon. Not. Roy. Astron. Soc. 1930. Vol. 91. P. 133.

11.Современное состояние релятивистской космологии // УФН. 1931. Т. 11. С. 124-184.

12.О теории электронных полупроводников // PZS. 1932. Bd. 2. S. 28-45.

13. Физические свойства электронных полупроводников // ЖТФ. 1932. С. 919-952.

14. Об аномальном рассеянии гамма-лучей // PZS. 1932. Bd. 2. S. 541.

15.Поглощение и рассеяние гамма-лучей // УФН. 1932. Т. 12. С. 649.

16.О расширяющейся вселенной // PZS. 1933. Bd. 3. S. 73-82.

17. О проводимости полупроводников в магнитном поле // Ibid. S. 140.

18. Внутренняя конверсия гамма-лучей // УФН. 1933. Т. 13. С. 537.

19. Всесоюзная ядерная конференция // Там же. С. 768.

20. Внутреннее строение звезд и источники звездной энергии

// Успехи астрон. наук. Сб. 2. М.: ОНТИ, 1933. С. 84-103 (см. также [50, с. 142-166]).

21. К вопросу о возможной теории мира как целого // Там же. Сб. 3. М.: ОНТИ, 1933. С. 3-30; [50, с. 186-215].

22. Второй закон термодинамики и Вселенная. (Совм. с Л. Д. Ландау) // PZS. 1933. Bd. 4. S. 114-118.

23. О границах применимости формулы Клейна - Нишины // PZS. 1934. Bd. 5. S. 517.

24. К вопросу о релятивистском обобщении принципа неопределенности // ДАН. 1934. Т. 1. С. 388-390.

25. Свойства излучения при очень высоких плотностях энергии // Там же. Т. 2. С. 462.

26. О конференции по теоретической физике // УФН. 1934. Т. 14. С. 516-520.

27. О рассеянии нейтронов протонами // ДАН. 1935. Т. 8. С. 75.

28. Гипотезы о происхождении космических лучей // Труды Всес. конф. по изучению стратосферы. Л.; М., 1935. С. 429432, 445-449.

29. Дополнение к книге: Эйнштейн А. Основы теории относительности. М.; Л.: ОНТИ, 1935.

30. Квантовая теория слабых гравитационных полей // PZS. 1936. Bd. 9. S. 140—157. Рус. пер. в кн.: Эйнштейновский сборник, 1980-1981. М.: Наука, 1985. С. 267-282.

31. Квантование гравитационных волн // ЖЭТФ. 1936. Т. 6. С. 195-236 (фрагмент помещен в [90, с. 433-445]).

32. Об аномальном рассеянии электронов протонами // PZS. 1936.Bd. 9. S. 537.

33. Об интенсивности запрещенных переходов // Ibid. S. 542.

34. О спонтанном распаде фотонов // PZS. 1936. Bd. 10. S. 686-688.

35.О возможности спонтанного расщепления фотонов. // ЖЭТФ. 1937.Т. 7. С. 335-358 (фрагмент помещен в кн.: Эйнштейновский сборник. 1980-1981. М.: Наука. 1985. С. 283-290.

36.О магнитном рассеянии нейтронов // Там же. С. 357-362.

Статьи в энциклопедиях

37.Относительности теория. (Совм. с В. Фредериксом) // Технич. энциклопедия. Т. 15. М.: Гостехтеориздат, 1931. С. 352-367.

38. Электрон // Там же. Т. 26. 1934. С. 645-650.

39. Атом // Там же. Доп. том. 1936. С. 78-97.

40. Атом // Физич. словарь. Т. 1. М.: ОНТИ, 1936. С. 214-222.

41. Бета-лучей спектры. Бета-распада теория // Там же. С. 298302, 307-313.

42. Квантовая статистика [статья удалена из готового тиража, сохранилась в отдельных экземплярах] // Физич. словарь. Т. 2. 1937. С. 744-751.

Рецензии

43.Дирак П. Принципы квантовой механики (Oxford, 1930) // УФН. 1931. Т. 11. С. 355-358.

44. Вейль Г. Теория групп и квантовая механика. (2 Aufl. Leipzig, 1931) // Там же. С. 358-360.

45. Гамов Г. А. Строение атомного ядра и радиоактивность // УФН. 1932. Т. 12. С. 362.

46. Joos G. Lehrbuch der theoretischen Physik (Leipzig, 1932) // PZS. 1933. Bd. 3. S. 100-101.

47. Теренин А. Н. Введение в спектроскопию (Л., 1933) // УФН. 1934. Т. 14. С. 248.

48. Гейзенберг В., Шредингер Э., Дирак П. Современная квантовая механика. Три нобелевских доклада (Л.; М., 1934) // PZS. 1934. Bd. 6. S. 612-615.

Редактирование

49.Дирак П. Основы квантовой механики. М.: Гостехтеориздат, 1932; 1937.

50. Основные проблемы космической физики. Харьков; Киев: ОНТИ, 1934.

51. Бриллюэн Л. Атом Бора. М.: ОНТИ, 1934.

52. БеккерР. Электронная теория. М.: ОНТИ, 1936.

53. Борн М. Таинственное число 137 // УФН. 1936. Т. 16. С. 687729.

Научно-популярные статьи и книги

54. Всемирное тяготение и электричество (Новая теория Эйнштейна) // Человек и природа. 1929. № 8. С. 20-25.

55. Состав и строение земного шара./Популярная библиотека журн. «Наука и техника», вып. 77. Л.: Красная газета, 1929.

56. Японский счетный прибор «Соробан» // Человек и природа, 1929. № 15. С. 5-7.

57. Эфир и его роль в старой и новой физике // Там же. № 16. С. 3-9.

58. Электрон и целые числа (новые работы А. С. Эддингтона)

// Человек и природа. 1930. № 2. С. 8-16.

59. Происхождение Солнечной системы // Там же. № 23. С. 3—10.

60. О природе положительного электричества // Науч. слово. 1930. № 5. С. 91-99.

61. Генри Рэссел // Творцы науки о звездах. Л.: Красная газета, 1930. С. 39-49.

62. Джемс Джинс // Там же. С. 75-88.

63. Строение атома // Библиотека рабочего самообразования, кн. 1. Л.: Красная газета, 1930.

63а. Будова атома. Харюв; Одесса, 1931.

64. Новый кризис теории квант // Науч. слово. 1931, № 1. С. 38—

65. Элемент с атомным номером 0 // Сорена. 1932. № 7. С. 165167.

66. О природе космических лучей // Там же. С. 142—144.

67. Учение о химической валентности в современной физике // Природа. 1932. № 10. С. 875-878.

68. Convegno di Fisica Nucleare // Сорена. 1933. № 1. С. 176177.

69. К вопросу о нейтронах // Природа. 1933. № 1. С. 63-66.

70. Конференция по твердым неметаллическим телам // Там же. С. 73-74.

71. Электронные полупроводники // Природа. 1933. № 2. С. 5456.

72. О книге Резерфорда, Чедвика, Эллиса // Там же. С. 77.

73. Положительные электроны // Природа. 1933. № 5/6. С. 21—22.

74.Аномальное поглощение и рассеяние у-лучей // Там же. С. 110-111.

75. Внутренняя конверсия у-лучей // Природа. 1933. № 8/9. С. 8789.

76. Проблемы физики звезд // Сорена. 1933. № 7. С. 12-23.

77. Всесоюзная ядерная конференция // Сорена. 1933. № 9. С. 155165.

78. Искусственная радиоактивность // Сорена. 1934. № 5. С. 3-9.

79. Сохраняется ли энергия? // Сорена. 1935. № 1. С. 7-10.

80. Успехи науки и техники в 1934 г.: Физика атомного ядра // Сорена. 1935. № 2. С. 78-81.

81. Строение вещества. Л.; М.: ОНТИ. 1935 (фрагмент в журнале: Квант. 1978. № 3. С. 11-18).

82. Атомы, электроны, ядра. Л.; М.: ОНТИ. 1935 (переиздание: Атомы и электроны. М.: Наука, 1980 / Библиотека «Квант», вып.

1).

82а. Атака атомного ядра. Кш'в, 1936.

83. Самый сильный холод // Еж. 1935. № 8. С. 18-20.

83а. Атомы и физическая реальность // Техника. 3 декабря 1935.

84. Новости физики // Известия. 12 мая 1936.

Научно-художественные книги [67]

85.Солнечное вещество // Костер. Сб. 2. Л.; Детиздат, 1934; Год XVIII. Альманах восьмой. М., 1935. С. 413-460 / ГТредисл. С. Я. Маршака; Л.: Детиздат, 1936; М.: Детгиз, 1959 / Предисл. Л. Д. Ландау и послесл. А. И. Шальникова.

85а. Сонячна речовина. Харыав; Одесса: Дитвидав, 1937. 85б. Der Sonnenstoff. Kiew: Ukrderschnazmenwydaw, 1937.

86. Лучи Икс // Костер. 1936. № 1, Л.: Детиздат, 1937; М.: Малыш, 1965.

87. Изобретатели радиотелеграфа // Костер. 1936. № 4, 5; Квант. 1987. № 2 (первые главы).

Использованная литература

88. Адамов Г. Б. Книга о солнечном веществе // Мол. гвардия. 1937. № 1. С. 217-223.

89. Академик Лев Давидович Ландау. М.: Знание, 1978. 62 с.

90. Альберт Эйнштейн и теория гравитации. М.: Мир, 1979.

91. Амбарцумян В. А. Внутреннее строение и эволюция звезд // Мироведение. 1934. № 4. С. 245-256.

92-93. Амбарцумян В. А. Статистика Ферми и теория белых карликов // Росселанд С. Астрофизика на основе теории атома. М.: ОНТИ, 1936. С. 140-144.

94. Ambarzumian V., Iwanenko D. Zur Frage nach Vermeidung der unendlichen Selbstruckwirkung des Elektrons // ZP. 1930. Bd. 64. S. 563-567.

95-96. Андроникашвили Э. Л. Воспоминания о жидком гелии. Тбилиси, 1980. С. 72-73.

97. Арзуманян А. Арагац. М.: Сов. писатель, 1979. 312 с.

98. Архив АН СССР (Ленингр. отд-ние). Ф. 970 (В. Р. Бурсиана). Оп. 1. Ед. хр. 83.

99.Там же. Ф. 1034 (В. А. Фока). Оп. 3. Ед. хр. 980.

100. Архив ЛГУ. Ф. 7240. Оп. 10. Д. 74.

101. Там же. Ф. 1. Оп. 3. Связка 11. Д. 387.

102. Архив ЛПИ им. М. И. Калинина. Личное дело 564.

103. Архив ЛФТИ. Личное дело 287. Л. 12.

104. Там же. Ф. 3. Оп. 2. Д. 2.

105. Атомное ядро. (Сб. докл. I Всес. ядерной конф.). М.: Гостех-теориздат, 1934. 216 с.

106. Бедный Д До атомов добрались // Полн. собр. соч. Т. 14. Л. 1930.С . 52.

107.Блохинцев Д. И. Пространство и время в микромире. М.: Наука, 1970. 250 с.

108. Блохинцев Д. И. Размышления о проблемах познания и творчества и закономерностях процессов развития // Теория познания и современная физика. М.: Наука, 1984. С. 53-74.

109. Дмитрий Иванович Блохинцев. Дубна: ОИЯИ, 1977. 64 с.

110. Блохинцев Д. И., Гальперин Ф. М. Борьба вокруг закона сохранения и превращения энергии в современной физике // ПЗМ. 1934. № 2. С. 97-106.

111. Блохинцев Д. И., Гальперин Ф. М. Гипотеза нейтрино и закон сохранения энергии // Там же. № 6. С. 147-157.

112. Блохинцев Д. И., Гальперин Ф. М. Атомистика в современной физике // ПЗМ. 1936. № 5. С. 102-124.

113. Бор Н. О применении квантовой теории к строению

атома. I. Основные постулаты квантовой теории (1923) // Избр. науч. труды. Т. 1. М.: Наука, 1970. С. 482.

114. Бор Н. О действии атомов при соударениях (1925) // Там же. С. 549.

115. Бор Н. Атомная теория и механика (1925) // Там же. Т. 2. С. 7-24.

116. Bohr N. Atomic stability and conservation laws // Attidel Convegno di fisica nucleare della Fondatione A. Volta, 1931.Roma, 1932. P. 119-130.

117. Бор Н. Химия и квантовая теория строения атомов (1932) // Избр. науч. труды. Т. 2. С. 75-110.

118. Бор Н. О методе соответствия в теории электрона (1934) // Там же. С. 163-172.

119. Бор Н. Законы сохранения в квантовой теории (1936) // Там же. С. 202-203.

120. Бор Н., Крамере Г., Слетер Дж. Квантовая теория излучения (1924) // Там же. Т. 1. С. 526-541.

121. Бор Н., Розенфельд Л. К вопросу об измеримости электромагнитного поля (1933) // Там же. Т. 2. С. 120-162.

122. Вавилов С. И. Рефераты книг: Эйнштейн А. Эфир и принцип относительности (Пг., 1921); Lenard P. Uber Relativitatsprin-zip, Ather, Gravitation (1920) // УФН. 1921. Т. 2. Вып. 2. С. 300.

123.Вавилов С. И. Экспериментальные основания теории относительности. М.; Л., 1928. 128 с.

124-125. Вайнберг С. Распад протона // УФН. 1982. Т. 137. С. 150-172.

126. Визгин В. П. Развитие взаимосвязи принципов инвариантности с законами сохранения в классической физике. М.: Наука, 1972. 240 с.

127. Визгин В. П. Релятивистская теория тяготения (истоки и формирование. 1900-1915). М.: Наука, 1981. 350 с.

128. Визгин В. П. Единые теории поля в первой трети XX века. М.: Наука, 1985. 300 с.

129. Визгин В. П. О ньютоновских эпиграфах в книге С. И. Вавилова о теории относительности // Ньютон и философские проблемы физики XX в. М.: Наука, 1989.

130. Визгин В. П., Горелик Г. Е. Восприятие теории относительности в России и СССР // Эйнштейновский сборник, 1983— 1984. М.: Наука, 1988. С. 7-70.

131. Визгин В. П., Френкель В. Я. Всеволод Константинович Фредерикс — пионер релятивизма и физики жидких кристаллов в СССР // Эйнштейновский сборник, 1984—1985. М.: Наука, 1938. С. 106-138.

132. Вклад академика А. И. Иоффе в становление ядерной физики в СССР. Л.: Наука, 1980. 32 с.

133. Владимиров Ю. С. Квантовая теория гравитации // Эйнштейновский сборник, 1972. М.: Наука, 1974. С. 280-340.

134. Волков Вл. (Берестецкий В. Б.). Семинар // Пути в незнаемое. Сб. 15. М.: Сов. писатель, 1980. С. 423-441.

135. Вонсовский С. В. Магнетизм. М.: Наука, 1971. 1032 с.

136. Вонсовский С. В. Воспоминания о Семене Петровиче Шубине // Из истории естествознания и техники Прибалтики (Рига), 1984. Т. 7. С. 189-195.

137. Вонсовский С. В., Леонтович М. А., Тамм И. Е. Семен Петрович Шубин (к 50-летию со дня рождения и 20-летию со дня смерти) // УФН. 1958. Т. 65. С. 733-737.

138. Воспоминания о И. Е. Тамме. М.: Наука, 1986. 310 с.

139. Воспоминания о Я. И. Френкеле. Л.: Наука, 1976. 278 с.

140. Вяльцев А. Н. Дискретное пространство-время. М.: Наука, 1965. 320 с.

141.Heitler W. The quantum theory of radiation. Oxford, 1936. 290 p.

142. Halpern O. Scattering processes produced by electrons in negative energy state // Phys. Rev. 1933. Vol. 44. P. 855-856.

143. Гамов Г. А. Очерк развития учения о строении атомного ядра. Теория радиоактивного распада // УФН. 1930. Т. 30. С. 531-544.

144. Гамов Г. А. О преобразовании элементов в звездах // Усп. астрон. наук. Сб. 2. М.; Л.: Гостехтеориздат, 1933. С. 72—83.

145. Гамов Г. А. Теория Дирака и положительные электроны // Сорена. 1933. № 8. С. 25-30.

146. Гамов Г. А. Международный конгресс по строению атомно го ядра // Сорена, 1934. № 1. С. 16-21.

147. Gamow G. Uber den heutigen Stand (20. Mai 1934) der Theorie des P-Zerfalls // Phys. Ztschr. 1934. Bd. 35. S. 533-542.

148. Гамов Г. А. Очерк развития учения о строении атомного ядра. V. Проблема Р-распада // УФН. 1934. Т. 14. С. 389-406.

149. Gamow G. Mr. Tompkins in Wonderland, or stories of c, G and h. Cambridge, 1939. 62 p. 2-nd ed., 1965.

150. Gamow G. Probability of nuclear meson-absorption // Phys. Rev. 1947. Vol. 71. P. 550-551.

151. Gamow G. The creation of the Universe. L., 1961. 210 p.

152. Gamow G. Gravity. Classical and modern views. N. Y., 1962, 243 p.

153. Gamow G. Thirty years that shook physics. N. Y., 1966. 320 p.

154. Gamow G. My world line. An informal autobiography. N. Y.,

1970. 180 p.

155. Gamow G., Teller E. Some generalisations of the P-transformation theory // Phys. Rev. 1937. Vol. 51. P. 289.

156. Гамов Г., Иваненко Д., Ландау Л. Мировые постоянные и предельный переход // ЖРФХО. 1928. Т. 60. С. 13-17.

157. Heisenberg W. Die Selbstenergie des Elektrons // ZP. 1930. Bd. 65. S. 4-13.

158. Гейзенберг В. Физические принципы квантовой теории (1930). Л.; М.: Гостехтеориздат, 1932. 160 с.

159. Гейзенберг В., Паули В. К квантовой динамике волновых полей (1929) // Паули В. Труды по квантовой теории. М.: Наука, 1977. С. 30-88.

160. Гессен Б. М. Основные идеи теории относительности. М.; Л.: Моск. рабочий, 1928. 70 с.

161. Гессен Б. М. Эфир // БСЭ, 1-е изд., Т. 65. 1931. С. 16-18.

162. Гессен Б. М. Социально-экономические корни механики; Ньютона. М.; Л.: Гостехтеориздат, 1933. 82 с.

163. Гинзбург В. Л. О физике и астрофизике. М.: Наука, 1985, 397 с.

164. Гинзбург В. Л., Киржниц Д. АЛюбушин А. А. О роли квантовых флуктуации гравитационного поля в общей теории относительности и космологии // ЖЭТФ. 1971. Т. 60. С. 451-459.

165. Classer O. Wilhelm Conrad Rontgen and the history of X-rays. L., 1933. 260 p.

166. Гольдман А. Г. Физика на Украине в 10-ю годовщину Советской Украины // Вюник природознатства. 1927. № 5/6. С. 257-272 (на укр. яз.).

167. Горелик Г. Е. Первые шаги квантовой гравитации и планковские величины // Эйнштейновский сборник, 1978-1979. М.: Наука, 1982. С. 334-365.

168. Горелик Г. Е. Размерность пространства: историко-методоло-гический анализ. М.: Изд-во МГУ, 1983. 214 с.

169. Горелик Г. Е. О гуманитарных корнях физического мировоззрения Эйнштейна // Исследования по истории физики и механики, 1985. М.: Наука, 1985. С. 75-84.

170. Горелик Г. Е. История релятивистской космологии и совпадение больших чисел // Эйнштейновский сборник, 1982—1983. М.: Наука, 1986. С. 302-322.

171. Горелик Г. Е. Законы ОТО и законы сохранения // Знание-сила. 1988. № 1. С. 23-29.

172. Горелик Г. Е. Два портрета // Нева. 1989. № 8. С. 167-173.

173. Горелик Г. Е., Френкель В. Я. М. П. Бронштейн и его роль, в становлении квантовой теории гравитации //

Эйнштейновский сборник, 1980-1981. М.: Наука, 1985. С. 291-327.

174. Горький М. О темах (1933) // Собр. соч. Т. 27. М.: Худож. лит., 1954. С. 108.

175. Гримм Я. и В. Сказки / Пер. Г. Петникова. М.: Худож. лит., 1978.

176. Данин Д. Жажда ясности (Что же такое научно-художественная литература?) // Формулы и образы. Спор о научной теме в художественной литературе. М.: Сов. писатель, 1961. С. 3-67.

177. Делокаров К. Х. Философские проблемы теории относительности. М.: Наука, 1973. 206 с.

178. Делокаров К. Х. Методологические проблемы квантовой механики в советской философской науке. М.: Наука, 1982. С. 223-232.

179. Джеммер М. Эволюция понятий квантовой механики. М.: Наука, 1985. 310 с.

180. Dirac P. Does conservation of energy hold in atomic processes? // Nature. 1936. Vol. 137. P. 298-299.

181. Долгов А. Д., Зельдович Я. В., Сажин М. В. Космология ранней Вселенной. М.: Изд-во МГУ, 1987. 199 с.

182. Зельдович Я. Б. Автобиографическое послесловие // Избр. труды. Частицы, ядра, Вселенная. М.: Наука, 1985. С. 437.

183. Зельдович Я. В., Новиков И. Д. Строение и эволюция Вселенной. М.: Наука. 1975. 560 с.

184. Зельманов А. Л. Космологические теории. I // Астрон. журн. 1938. Т. 15. С. 456-481.

185. Зельманов А. Л. Космология // Астрономия в СССР за 30 лет. М.: Изд-во АН СССР, 1948.

186. Зельманов А. Л. Космология // Развитие астрономии в СССР. М.: Наука, 1967.

187. Иваненко Д. Д. Дополнение // Дирак П. Основы квантовой механики. М.: Гостехтеориздат, 1932.

188. Иваненко Д. Д. Конференция по атомному ядру в Ленинграде // Фронт науки и техники. 1933. № 10/11. С. 139-143.

189. Иваненко Д. Д. Модель атомного ядра и ядерные силы // 50 лет современной ядерной физике. М.: Энергоиздат, 1982. С. 18-52.

190. Иваненко Д. Д., Соколов А. А. Квантовая теория гравитации // Вестн. МГУ. 1947. № 8. С. 103-115.

191. Ивантер Б. К первой годовщине работы издательства «Детская литература» // Правда. 1936. 28 дек.

192. Идлис Г. М. Основные черты наблюдаемой астрономической Вселенной как характерные свойства обитаемой космической системы // Изв. Астрофиз. ин-та АН КазССР. 1958.

№ 7. С. 39-54.

193. Иоффе А. Ф. Электронные полупроводники. Л.; М.: ОНТИ. 1933. 120 с.

194. Иоффе А. Ф. Советская физика и 15-летие физико-технических институтов // Известия. 1933. 3 окт.

195. Иоффе А. Ф. Развитие атомистических воззрений в XX веке // ПЗМ. 1934. № 4. С. 52-68.

196. Иоффе А. Ф. О положении на философском фронте советской физики // ПЗМ. 1937. № 11/12. С. 131-143.

197. Иоффе А. Ф. О физике и физиках. Л.: Наука, 1985. 544 с,

198. Каплан С. А. Физика звезд. М.: Наука, 1970. С. 110.

199. Кикоин И. К. Рассказы о физике и физиках. М.: Наука, 1986. 144 с.

200. Киржниц Д. А. Проблема фундаментальной длины // Природа. 1973. № 1. С. 38-45.

201. Киржниц Д. А., Линде А. Д. Фазовые превращения в микромире и во Вселенной // Природа. 1979. № 11. С. 20-30.

202. Клейн М. Первая фаза диалога Бора и Эйнштейна // Эйнштейновский сборник, 1974. М.: Наука, 1976. С. 115—155.

203. Klein O. Zur fiinfdimensionalen Darstellung der Relativitatstheone // ZP. 1927. Bd. 46. S. 188.

204. Кобзарев И. Ю., Берков А. В., Жижин Е. А. Теория тяготения Эйнштейна и ее экспериментальные следствия. М.: МИФИ. 1981. 164 с.

205. Кобзарев И. Ю. Предисловие // Эйнштейновский сборник, 1982-1983. М.: Наука, 1986. С. 6.

206. Кордыш Л. И. Гравитация и инерция // Университетские изв. Киев, 1918. Т. 57. № 3/4. С. 1-20.

207. Кордыш Л. И. Гравитационная теория дифракционных явлений // Там же. С. 1-36.

208. Кордыш Л. И. Теория относительности и теория квант // Изв. Киевского политехнич. и с/х ин-тов. 1924. Кн. 1. Вып. 1. С. 10-17.

209. Кочина П. Я. Николай Евграфович Кочин. М.: Наука, 1979. С. 74.

210. Крум С. Некоторые черты советской физики // Сорена. 1936- № 4. С. 120-124.

211. Крум С. Физика на сессии Академии наук // Там же. № 5. С. 105-116, 155-162.

212. Крум С. Исход новейшего спора о сохранении энергии // Там же. № 8. С. 85-87.

213. Ландау Л. Д. Диамагнетизм металлов (1930) // Собр. тр. Т. 1. М.: Наука, 1969. С. 47-55.

214. Ландау Л. Д. К теории звезд (1932) // Там же. С. 86-89.

215. Ландау Л. Д. Буржуазия и современная физика // Известия. 1935. 23 нояб.

216. Ландау Л. Д. Об источниках звездной энергии (1937) // Собр. тр. Т. 1. С. 224-226.

217. Ландау Л. Д. Т еория квант от Макса Планка до наших дней // Макс Планк (1858-1958). М., 1958. С. 94-108.

218. Ландау Л. Д. Квантовая теория поля // Нильс Бор и развитие физики. М.: Изд-во иностр. лит., 1958.

219. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Статистическая физика. М.: Гостехтеориздат, 1938. 272 с.

220. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Статистическая физика. 2-е изд. М.: Гостехтеориздат, 1940. 280 с.

221. Ландау Л. Д., Пайерлс Р. Распространение принципа неопределенности на релятивистскую теорию (1931) // Ландау Л. Д. Собр. тр. Т. 1. С. 56-70.

222. Ландау Л. Д., Пятигорский Л. М. Механика. М.; Л.: Гостехтеориздат, 1940, 203 с.

223. Lemaitre G. L'univers en expansion // Rev. Quest. Sei. 1932. № 11. P. 391.

224. Ливанова А. М. Ландау. М.: Знание, 1983. 239 с.

225. Львов В. Е. Перпетуум мобиле - последнее слово буржуазной физики // Новый мир. 1934. № 5. С. 224-242.

226. Львов В. Е. Атака на закон сохранения энергии // Вестн. знания. 1934. № 5. С. 265-269.

227. Львов В. Е. Документ воинствующего идеализма // Новый мир, 1935. №4. С. 269-272.

228. Львов В. Е. Научное обозрение. О камуфляже, о вечном двигателе и шутнике «материалисте» из журнала «Сорена» // Там же. № 11. С. 246-252.

229. Львов В. Е. На фронте физики // Там же. 1936. № 5. С. 139153

230. Львов В. Е. На фронте космологии // ПЗМ. 1938. № 7. С. 137167.

231. Львов В. Е. Молодая Вселенная. Л.: Лениздат. 1969. 220 с.

232. Малкей М. Наука и социология знания. М.: Прогресс, 1983. 240 с.

233. МарковМ. А. О природе материи. М.: Наука, 1976. 192 с.

234. Мартынов Д. Я. Пулковская обсерватория в годы 1926—1933 // Историко-астрономические исследования. Вып. 17. М.: Наука. 1984. С. 425-450.

235. Маршак С. Я. Повесть об одном открытии // Год восемнадцатый. Альманах восьмой. М., 1935.

236. Маршак С. Я. Дом, увенчанный глобусом // Новый мир.

1968. № 9. С. 157-181.

237. Мигдал А. Б. Поиски истины. М.: Мол. гвардия, 1983. 210 с.

238. Мигдал А. Б. Интервью журналу «Физика в школе» // Физика в шк. 1986. № 2. С. 22-26.

239. Мизнер Ч., Торн К., Уилер Дж. Гравитация. М.: Мир, 1977. 460 с.

240. Наследов Д. Н. Организатор молодой школы // Индустриальный. 1940. 18 окт.

241. Нильс Бор. Жизнь и творчество. М.: Наука, 1967. 343 с.

242. Окунь Л. Б. a, p, y, Z (Элементарное введение в физику элементарных частиц). М.: Наука, 1985. 110 с.

243. Оствальд В. Изобретатели и исследователи. М., 1909. 62 с.

244-246. Оствальд В. Великие люди. М., 1910. 372 с.

247. Peierls R. Introduction // Bohr N. Collected works. Vol. 9. (Nuclear physics, 1929-1952). Copenhagen, 1985. P. 3-90.

248. Пантелеев Л. Маршак в Ленинграде //Избранное. Л.: Худож. лит., 1967. С. 491.

249. Паули В. Некоторые вопросы интерпретации квантовой механики (1933) // Труды по квантовой теории. М.: Наука, 1977. С. 182-183.

250. Паули В. Пространство, время и причинность в современной физике. (1934) // Паули В. Физические очерки. М.: Наука, 1975. С. 7-28.

251. Паули В. Законы сохранения в теории относительности и атомной физике (1937) // Физика. Проблемы, история, люди. Л.: Наука, 1986. С. 217-232.

252. Паули В. Статьи последних лет // Теоретическая физика 20 века. М.: Изд-во иностр. лит., 1962.

253. Перель В. Я., Френкель В. Я. Две работы Я. И. Френкеля // Физика и техника полупроводников. 1984. Т. 18. С. 1931—1939.

254. Планк М. Избранные труды. М.: Наука, 1975. 540 с.

255. Проблемы современной физики в работах Ленинградского физико-технического ин-та. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1936. С. 74-77.

256. Rabi I. Der Freie Elektron in homogen Magnetfeld // ZP. 1928. Bd. 49. S. 507-511.

257. Райский С. М. Несколько воспоминаний // Академик Л. И. Мандельштам. К 100-летию со дня рождения. М.: Наука, 1979. С. 215.

258. Рейсер С. А. Основы текстологии. Л.: Просвещение, 1978. 210 с.

259. Розенфельд Л. О гравитационных действиях света (1930) // Эйнштейновский сборник, 1980-1981. М.: Наука, 1985. С. 255-266.

260-261. Rosenfeld L. On quantization of fields // Nucl. Phys. 1963. Vol. 40. P. 353-356.

262. Салам А. Калибровочное объединение фундаментальных сил (Нобелевская лекция) // На пути к единой теории поля. М.: Знание, 1980.

263. Семковский С. Ю. Диалектический материализм и принцип относительности. М.; Л., 1926. 216 с.

264. Сессия АН СССР 14-20 марта 1936 г. // Изв. АН СССР. ОМЕН. 1936. № 1/2.

265. Соминский М. С. Абрам Федорович Иоффе. М.: Наука, 1964. 643 с.

266. StonerE. C. The equilibrium of dense stars // Philos. Mag. 1930.

Vol. 9. P. 944-963.

267. Stoner E. C. A note on condensed stars // Ibid. 1931. Vol. 11. P. 986-995.

268. Тамм И. Е. Теоретическая физика // Октябрь и научный прогресс. Т. 1. М.: АПН, 1967. С. 170.

269. Тартаковский П. С. Об основных гипотезах теории квантов // Изв. Киев. ун-та. 1919. № 1/2. С. 1-12.

270. Тартаковский П. С. Кванты света. Л.: ГИЗ, 1928. 240 с.

271. Тартаковский П. С. Экспериментальные основания волновой теории материи. М.: Гостехтеориздат, 1932. 280 с.

272. Туницкий З. История солнечного вещества // Комс. правда. 1936. 22 июля.

273. Уилер Дж. Гравитация, нейтрино и Вселенная. М.: Изд-во иностр. лит. 1962. 266 с.

274. Фейнберг Е. Л. Кибернетика, логика, искусство. М.: Радио, 1981. 160 с.

275. Фок В. А. Успехи советской физики // Техника. 18 марта 1936 г.

276. Fock V. [Реф. статей М. П. Бронштейна [30, 31]] // Zentralblatt fur Math. und ihre Grenzgebiete. 1936. Bd. 14. S. 87.

277. Фок В. А. Основы квантовой механики и границы ее приложимости. М., 1936. 38 с..

278. Фок В. А. Проблема многих тел в квантовой механике // УФН. 1936. Т. 16. С. 943-954.

279. Фок В. А. Альберт Эйнштейн (по поводу 60-летия со дня его рождения) // Природа. 1939. № 7. С. 95-97.

280. Fock F., Jordan P. Neue Unbestimmtheitseigenschaften des elektromagnetischen Feldes // ZP. 1930. Bd. 66. S. 206-209.

281.Фок В. А., Подольский Б. О квантовании электромагнитных волн и взаимодействии зарядов по теории Дирака (1932) // Фок А. В. Работы по квантовой теории поля. Л.: Изд-во ЛГУ, 1957. С. 55-69.

282. Франс А. Харчевня королевы Гусиные Лапы // Собр. соч. Т. 2. М.: Худож. лит., 1958.

283. Фредерикс В. К. Общий принцип относительности Эйнштейна // УФН. 1921. Т. 2. С. 162-188.

284. Френкель В. Я. Яков Ильич Френкель. М.: Наука, 1966. 472 с.

285. Френкель В. Я. Пауль Эренфест. М.: Атомиздат, 1977. 210 с.

286. Френкель В. Я. Л. А. Арцимович в ЛФТИ // Воспоминания об академике Л. А. Арцимовиче. М.: Наука, 1981. С. 157- 166.

287. Френкель В. Я. Первая Всесоюзная ядерная конференция // Чтения памяти А. 288. Ф. Иоффе. 1983. Л.: Наука, 1985. С. 7494.

289. Френкель В. Я., Явелов Б. Е. Эйнштейн - изобретатель. М.: Наука, 1981. 152 с.

Френкель Я. И. Теория относительности. Пг.: Мысль, 1923. 182 с.

290. Френкель Я. И. Применение теории Паули-Ферми к вопросу о силах сцепления (1928) // Собр. избр. трудов. Т. 2. М.: Изд-во АН СССР, 1958. С. 109-Г21 (§ 4 Сверхплотные звезды. С. 118-121).

291. Френкель Я. И. О кризисе современной физики // Архив АН СССР. Ф. 1515. Оп. 2. Д. 104.

292. Hetherington N. S. Philosophical values and observation in Edwin Hubbles choice of a model of the Universe // Hist. Studies Phys. Sci. 1982. Vol. 13. P. 41-67.

293. Хокинг С. Виден ли конец теоретической физики? // Природа. 1982. № 5. С. 48-56.

294. Hopf E. Mathematical problems of radiative equilibrium. Cambridge, 1934. 164 p.

295. Chandrasekhar S. Stellar configurations with degenerate cores // Observatory. 1934. Vol. 57. P. 373-377.

296. Chandrasekhar S. The highly collapsed configurations of a stellar mass // Mon. Not. Roy. Astron. Soc. 1935. Vol. 95. P. 207-225.

297.Чандрасекар С. Перенос лучистой энергии. М.: Изд-во иностр. лит. 1953. С. 85, 96.

298. Чуковская Л. К. В лаборатории редактора. М.: Искусство, 1963. 290 с.

299. Шмушкевич И. М., Давыдов Б. И. Теория электронных

полупроводников // УФН. 1940. Т. 24. С. 21-61.

300. Шпольский Э. В. Экспериментальная проверка фотонной теории рассеяния // УФН. 1936. Т. 16. С. 458-466.

301. Шубин С. П. О сохранении энергии // Сорена. 1935. № 1. С. 11-13.

302. Shankland R. An apparent failure of the photon theory of scattering // Phys. Rev. 1936. Vol. 49. P. 8-13.

303. Эйгенсон М. С. Большая Вселенная. М.: Гостехтеориздат, 1936. 142 с.

304. Эйнштейн А. К исследованию состояния эфира в магнитном поле (1895) // Природа. 1979. № 3. С. 3-5.

305. Эйнштейн А. Приближенное интегрирование уравнений гравитационного поля (1916) // Собр. науч. трудов. Т. 1. М.: Наука, 1965. С. 514-523.

306. Эйнштейн А. Вопросы космологии и общая теория относительности (1917) // Там же. С. 601-612.

307. Эйнштейн А. О гравитационных волнах (1918) // Там же. С. 631-646.

308. Эйнштейн А. Эфир и теория относительности (1920) // Там же. С. 682-689.

309. Эйнштейн А. Об эфире (1924) // Там же. Т. 2. С. 154-160.

310. Эйнштейн А. Проблема пространства, поля и эфира в физике (1930) // Там же. С. 283-285.

311.Эренфест-Иоффе. Научная переписка. Л.: Наука, 1973. 309 с.

Приложение. Две статьи М. П. Бронштейна из журнала «Человек и природа» за 1929 год

Помещенные здесь статьи помогают представить себе состояние фундаментальной физики, творческий диапазон и мировосприятие М. П. Бронштейна в начале его самостоятельного пути в науке. Дополнительное освещение рождается сходством тогдашней ситуации в теоретической физике с нынешней.

Двухнедельный научно-популярный и культурно-образовательный журнал "Человек и природа" (издававшийся в Ленинграде издательством "Красная газета") ставил своей целью знакомить широкие читательские круги с важнейшими вопросами современной науки и культуры. Так было написано на обложке журнала, и так было на самом деле.

Прежде чем кратко прокомментировать статьи Бронштейна, перелистаем годовой комплект журнала, чтобы ощутить тогдашнюю атмосферу научно-общественной жизни. На некоторых статьях глаз невольно останавливается. «Опыты оживления головы». «Проблема анатомической основы одаренности и мозг В. И. Ленина» (с сопоставлением микрофотографий среза мозга обыкновенного человека (?) и мозга Ленина). Двумя статьями и портретом на меловой бумаге отмечается 50-летие Эйнштейна. Заглавная статья одного из номеров принадлежит небезызвестному И. Презенту, который тогда еще боролся не с генетикой, а с механистическим марксизмом. В материалах, посвященных «учению об омоложении», наряду с использованием мочи беременных женщин фигурирует и метод Воронова (пересадка половых желез), упомянутый в письме Капицы из раздела 3.9. Обсуждаются весьма разнообразные проблемы: «Задачи и перспективы звездоплавания», «Спорные вопросы марксистской экономики», «Связь исторического материализма с диалектическим».

В журнале отразилась отнюдь не застойная общественная жизнь: на январских выборах в Академию наук были забаллотированы три кандидата-коммуниста; на III Всесоюзном съезде научных работников наряду с другими проблемами говорилось, что «затирание коммунистов, антисемитизм наблюдаются как прочное явление в некоторых вузах»; VII Всесоюзный съезд просвещенцев высказался за «пополнение

кадров батрацкой и бедняцкой молодежью и за усиление борьбы с теми просвещенцами, которые подпадают под влияние буржуазных элементов города и села... »

В редколлегии журнала физику представлял Я. И. Френкель, и представлял очень успешно. Практически в каждом номере статьи по физике. Фамилии большинства авторов сейчас хорошо известны: Хвольсон, Мысовский, Харитон, Шальников, Кобеко, Курчатов, Дорфман, Кикоин, Гохберг, Гамов. Опубликованы переводы статей Планка, Комптона, Шредингера. Уже из этого перечня ясно, что на страницах журнала была представлена вся физика.

Теперь, обрисовав несколькими штрихами журнальный фон, перейдем к статьям Бронштейна.

Его рассказ в апрельском номере о «новой теории Эйнштейна» был посвящен более чем актуальному вопросу тогдашней теоретической физики. Достаточно сказать, что этот вопрос стал одним из главных на конференции по теоретической физике, собравшейся в Харькове в конце мая (рассказ Д. Иваненко об этой конференции помещен в № 14). Это первая популярная статья двадцатидвухлетнего автора (еще не закончившего, напомним, университет). Подписана она инициалами М. В., возможно, потому, что автор не решил еще, как ему относиться к самому жанру популяризации. Помимо отваги, с которой автор взялся объяснить очень высокие теоретические материи, производят особое впечатление слова о квантовой геометрии (за год до появления первых публикаций на эту тему, см. разд. 3.4) и заключительная фраза статьи, фраза, под которой и сейчас подписались бы многие теоретики.

Вторая помещенная здесь статья настолько отличается от первой, что кажется написанной другим человеком. Там энтузиазм по поводу «последнего слова» науки, тут внимательное разглядывание предшествовавших «слов» науки, всей эволюции, вкус к историческим деталям. И все же у этих статей один автор, которому просто очень интересно связать последнее слово науки с предыдущими. Первую статью прекрасно дополняет фраза из второй: «Физические величины не могли бы быть выведены из геометрических, если бы уже каким-то образом не заключались в них; и если физика становится геометрией пространства и времени, то эта геометрия в такой же мере становится физикой». Что касается заключительного прогноза, то он неверен только лексически: слово «эфир», слишком отягощенное историей, осталось в прошлом. По существу же прогноз оправдался, поскольку понятия пространства-времени и вакуума, унаследовавшие роль эфира, играют ключевую роль в

современной физике.

В первых статьях Бронштейна чувствуется, конечно, давление научного лексикона (которое со временем и с мастерством исчезнет начисто), но это не мешает видеть свободное течение мысли. А такая свобода порождается только полным владением материалом.

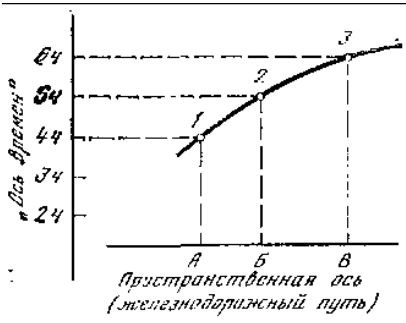
Чтобы не возникло ощущение, что Бронштейн интересовался исключительно супервеликими проблемами, отметим, что между помещенными здесь статьями Бронштейн опубликовал статью о японском счетном приборе «Соробан». Его интересы были широки и полнокровны.

Итак, 1929-й год, журнал «Человек и природа», 22-летний М. П. Бронштейн.

М. П. Бронштейн. Всемирное тяготение и электричество (Новая теория Эйнштейна) [68]

Создатель теории относительности проф. Альберт Эйнштейн выступил с новой математической теорией, объединяющей в одно целое явления тяготения и электромагнитное поле. Помещены статьи, разъясняющие смысл новой теории, но вследствие их краткости они оказались недоступными пониманию среднего читателя. Для того чтобы понять новую теорию Эйнштейна, необходимо уяснить себе основы общей теории относительности, так как новая теория является непосредственным продолжением и развитием идей Эйнштейна о тяготении, резюмированных им в общей теории относительности. Трудность понимания этих идей происходит от двух причин. Первой причиной является то, что теория Эйнштейна оперирует не с обычным трехмерным пространством и рассматриваемым отдельно от него временем, а с четырехмерной совокупностью пространства и времени, рассматриваемым как некоторое четырехмерное «пространство». Точками такого четырехмерного пространства являются не обычные пространственные точки, а так называемые «события», т. е. точки пространства, рассматриваемые в определенный момент времени. Весь мир теории относительности является четырехмерной совокупностью таких «событий», охватывающей собою прошлое, настоящее и будущее.

Получить наглядное представление об этом четырехмерном слиянии пространства и времени возможно при рассмотрении более простого случая, когда пространство, соединяемое с временем, было первоначально не трехмерным, а одномерным. Примером может служить хотя бы такая известная всем вещь, как график железнодорожного движения. Проведем на листе бумаги две взаимно перпендикулярные прямые (оси координат).



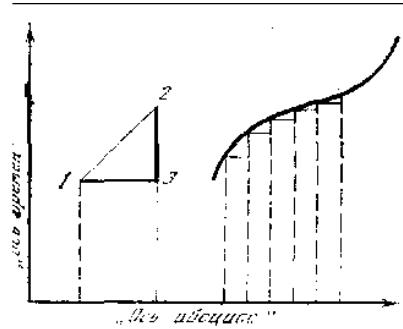


Рис. 1 Рис. 2

Первая прямая представляет изображение железнодорожного пути, вторая является той осью, на которой откладываются в известном масштабе промежутки времени. Рассмотрим какую-нибудь точку этой диаграммы, например обозначенную цифрой *1* (рис. 1). Опустим из этой точки перпендикуляры на обе оси. Перпендикуляр, опущенный на ось, изображающую железнодорожный путь, пересечет ее в точке А, а перпендикуляр, опущенный на ось времен, пересечет ее в точке, соответствующей какому-нибудь определенному моменту времени, например 4 часам пополудни. В этом случае говорят, что точка *1* соответствует событию, происходящему в 4 часа пополудни в точке *А* железнодорожного пути. Если по железнодорожному пути перемещается поезд, то на диаграмме возможно начертить линию, точки которой соответствуют событиям, заключающимся в прохождении поезда в определенные моменты времени через определенные места железнодорожного пути. Такая линия начерчена на рисунке. Из нее видно, что в 4 часа пополудни поезд был в точке *А,* в 5 часов пополудни он был в точке *Б* (это «событие» изображается на диаграмме точкой 2) и т. д. Построение железнодорожных графиков известно каждому школьнику. Легко видеть, что если поезд двигался по железнодорожному пути с постоянной скоростью, то график его движения изобразится на диаграмме прямой линией, если же он двигался не равномерно, то графиком будет служить кривая или ломаная линия.

Четырехмерная совокупность «событий», рассматриваемая в теории относительности Эйнштейна и введенная впервые в эту теорию знаменитым математиком Германом Минковским, представляет полную аналогию с железнодорожным графиком, с той лишь только разницей, что эта четырехмерная совокупность по вполне понятным причинам не может быть изображена графически. Изучающий теорию относительности должен мыслить таким образом, что вместо движения материальной

точки в трехмерном пространстве по некоторому пути он сразу представляет себе линию, являющуюся графиком движения этой материальной точки в четырехмерной «диаграмме» Эйнштейна. Подобные представления о четырехмерной совокупности «событий» были развиты Минковским и Эйнштейном уже для «специальной теории относительности», в которой явления тяготения еще не рассматривались. Когда Эйнштейн начал работать над созданием новой теории тяготения (в 1912 г.), ему пришлось ввести новое большое усложнение. Этим усложнением было введение неевклидовой геометрии.

Рассмотрим вкратце, в чем здесь дело, и будем для простоты рассматривать снова не четырехмерную совокупность точек, с которой приходится иметь дело в теории Эйнштейна, а двухмерную, которую возможно изобразить на листе бумаги. Проведем снова две взаимно перпендикулярные оси координат и рассмотрим две точки *1* и *2* на этой диаграмме (рис. 2). Расстояние между точками *1* и *2* можно вычислить с помощью теоремы Пифагора, если даны так называемые «проекции отрезка *1 2* на координатные оси», т. е. катеты прямоугольного треугольника *12 3,* проведенные параллельно координатным осям. Квадрат длины отрезка *1 2* равен сумме квадратов его проекций *1 3 и 2 3.* Теорема Пифагора даст возможность вычислять длину также и любой кривой линии, проведенной на диаграмме. Для этого нужно разбить кривую линию на ряд таких мелких частей, что каждая из этих частей может приближенно рассматриваться как отрезок прямой линии (бесконечно малая дуга может быть заменена своей хордой). Вычислив длину каждого бесконечно малого отрезка прямой линии, равную квадратному корню из суммы квадратов проекций этого отрезка, мы можем сложить полученные результаты и найти таким образом длину всей кривой линии. Такое вычисление длины кривой, опирающееся на теорему Пифагора, является необходимым следствием геометрии Евклида.

Неевклидова геометрия, начало созданию которой положили сто лет тому назад Лобачевский, Гаусс и Болиаи и которая была приведена в более совершенную форму гениальным немецким математиком Берн-хардом Риманом, представляет непосредственно обобщение геометрии Евклида. Вместо того чтобы вычислять квадратный корень из суммы квадратов проекций бесконечно малого отрезка, как это делается в геометрии Евклида, неевклидова геометрия вычисляет квадратный корень из более сложного выражения, являющегося суммой не только квадратов бесконечно малых проекций, но и произведения этих проекций, причем в этой сумме каждый

квадрат и произведение предварительно умножается на некоторый коэффициент. Таким образом, евклидова геометрия является тем частным случаем неевклидовой геометрии, который получится, если коэффициенты при квадратах проекций равны единице, а коэффициенты при произведении равны нулю. В неевклидовой же геометрии эти коэффициенты могут принимать различные значения в разных точках пространства. Легко видеть, что если даны значения этих коэффициентов во всех точках пространства (или, как сказал бы физик, задано «поле» этих коэффициентов), то возможно вычислить длину любой кривой линии, проведенной в этом неевклидовом пространстве. Все другие геометрические величины (углы, площади, объемы и т. д.) также возможно вычислить с помощью тех же коэффициентов, которые, таким образом, приобретают первостепенное значение для геометрических свойств неевклидова пространства. Ими, как говорят, определяется «метрика» пространства, т. е. результаты всех производимых в нем измерений. Коэффициенты эти получили довольно громоздкое название «компонентов метрического фундаментального тензора». Понятно, что вся суть заключается именно в этих компонентах. Если между двумя точками проведены две кривые линии, то, например, вопрос о том, которая из них короче, может быть решен только в том случае, если заданы значения компонентов метрического фундаментального тензора в каждой точке. Линия, которая не оказалась бы кратчайшим расстоянием между двумя точками в пространстве евклидовом, где все компоненты метрического фундаментального тензора равны или нулю или единице, может оказаться кратчайшей линией, если задано какое-нибудь другое распределение этих компонентов в пространстве, соответствующее неевклидовой геометрии.

Идея Эйнштейна, примененная им к изучению полей тяготения, заключалась в том, что четырехмерная пространственно-временная совокупность точек-событий не должна обязательно являться евклидовой, а может быть и неевклидовой. Если в какой-нибудь области пространства отсутствует поле тяготения, то согласно Эйнштейну геометрия четырехмерной пространственно-временной совокупности может считаться евклидовой. В этом случае материальная точка, на которую не действуют электромагнитные силы (т. е. не действуют никакие силы вообще, так как, кроме сил тяготения, все известные в физике силы сведены к электромагнитным), то рассматриваемая точка будет двигаться согласно закону инерции равномерно и прямолинейно.

До *Эйнштейна* полагали, что роль сил тяготения

принципиально не отличается от роли электромагнитных сил, т. е. что действие тех и других сил состоит в сбивании материальной точки с того кратчайшего пути, по которому она двигалась бы в отсутствие сил. Эйнштейн решил этот вопрос совершенно новым и неожиданным образом. Если под силами подразумевать те причины, по которым график движения материальной точки перестает быть кратчайшей или прямейшей линией, то загадка сил тяготения получает следующее парадоксальное разрешение: *сил тяготения вообще не существует!* существует только свойство тяжелых тел создавать вокруг себя такие неевклидовы свойства пространства, такое, как говорят, «искривление» пространства, благодаря которому материальная точка движется в отсутствие электромагнитных сил не по тем линиям, по каким она бы двигалась в случае евклидовой метрики, а по другим.

Из предыдущего ясно, что поле тяготения является в эйнштейновой теории геометрическим свойством пространства, поскольку оно может быть вычислено по значениям тех коэффициентов, которыми определяется длина проведенных в четырехмерном пространстве Эйнштейна—Минковского кривых линий. Заслуга Эйнштейна заключается в том, что он нашел закон, которому должно удовлетворять поле этих метрических коэффициентов в четырехмерном пространстве («закон тяготения Эйнштейна»). Роль материи сводится к тому только, что присутствие материи вызывает искривление пространства и нарушение первоначальных евклидовых его свойств. Отсюда ясно, что в теории относительности Эйнштейна электромагнитные силы и силы тяготения играют принципиально различную роль: силы тяготения вытекают непосредственно из геометрических свойств четырехмерной пространственно-временной совокупности точек-событий, между тем как электромагнитные силы не имеют ничего общего с геометрией и не могут быть вычислены по заданным значениям компонентов метрического фундаментального тензора.

Такое различие между электромагнитными и гравитационными силами считалось недостатком теории, и многие исследователи пытались создать такую теорию электромагнитного поля, в которой электрические и магнитные величины вычислялись бы из геометрических свойств пространства-времени. Одной из попыток такого рода является теория Калуцы (1921 г.). Вместо четырехмерной совокупности точек Калуца рассматривал пятимерную, в которой число метрических коэффициентов было поэтому больше, чем в четырехмерной совокупности. Потенциалы электромагнитного

поля вычислялись им из этих коэффициентов. Теория Калуцы не имела успеха, хотя его идеи сыграли некоторую роль (пятимерная совокупность точек была снова введена в 1927 г. немецким математиком Оскаром Клейном и русским математиком В. А. Фоком в их математическом истолковании волновой механики Шредингера). К другим попыткам свести электромагнитное поле к геометрическим свойствам пространственно-временного мира принадлежит теория, разработанная цюрихским математиком Германом Вейлем. Эта теория также не смогла удовлетворительно описать электромагнитные явления, как и теория Калуцы. Обе теории удовлетворительно справлялись с уравнениями электромагнитного поля в пустоте, но не могли объяснить законов движения материи в этом поле.

Теория Эйнштейна, о которой идет речь в этой заметке, ставит перед собой такую же самую цель — включение электромагнитного поля в систему чисто геометрических величин. Для того чтобы понять новую теорию Эйнштейна, названную им «единой теорией поля», нужно рассмотреть понятие о параллелизме в неевклидовой геометрии. Пусть в неевклидовом пространстве дана точка *1* и в ней задано некоторое направление (например, направление некоторого бесконечно малого отрезка, начинающегося в точке *1*). Пусть через точку *2* того же неевклидового пространства требуется провести отрезок, параллельный заданному бесконечно малому отрезку в точке *1*. Простейшим способом является следующий. Соединим точки *1* и *2* геодезической (кратчайшей) линией и будем перемещать вдоль этой линии бесконечно малый отрезок из точки *1* в точку *2* так, чтобы при каждом бесконечно малом перемещении, на которые можно разложить его путь от точки *1* к точке *2,* он оставался параллелен самому себе. Ясно, что, придя в точку *2,* он будет находиться под тем же углом к касательной, проведенной к геодезической линии, под которым он находился в точке *1*. На первый взгляд может казаться, что то положение, которое отрезок принял в точке *2,* можно считать параллельным его первоначальному направлению в точке *1*. Однако с этим связаны трудности. Если, например, дана, кроме точек *1* и *2,* еще и точка *3,* то можно было бы переместить бесконечно малый отрезок параллельно самому себе сперва из точки *1* к точке *3* по соединяющей их геодезической линии, а затем из точки *3* к точке *2* по геодезической линии *3 2*. Окажется, что после двух таких перемещений бесконечно малый отрезок будет занимать в точке *2* не то положение, какое он имел бы при непосредственном перемещении параллельно самому себе по геодезической линии *1 2,* а другое.

Таким образом, понятие параллелизма не может быть обобщено на пространство, обладающее кривизной. Это можно проверить на простом случае шаровой поверхности, которую можно рассматривать, как двумерное неевклидово пространство. Пусть на поверхности шара даны три точки *1, 2* и *3*. Соединим их попарно дугами больших кругов (известно, что на поверхности шара дуга большого круга, соединяющая две точки, является кратчайшим расстоянием между ними). Получился сферический треугольник *123*. Если в точке *1* проведен какой-нибудь отрезок в касательной плоскости к шару, то его можно переместить вдоль стороны сферического треугольника *1 2* таким образом, чтобы он все время оставался касателен к шару и все время образовывал один и тот же угол с касательной к большому кругу *1 2*. Это и будет «перемещение параллельно самому себе» по геодезической линии *1 2*. После этого его можно таким же образом «перенести параллельно самому себе» по геодезической линии *2 3,* а затем и по линии *3 1*. Окажется, что после такого «перемещения параллельно самому себе» по контуру сферического треугольника *123* отрезок не придет в прежнее положение, а образует со своим первоначальным направлением в точке *1* некоторый угол. С помощью элементарной геометрии нетрудно доказать, что этот угол будет равен так называемому « сферическому эксцессу» треугольника *1 2 3,* т. е. разности между суммой углов сферического треугольника *1 2 3* и 180 градусами. (Сферический эксцесс треугольника, как доказывается в сферической тригонометрии, пропорционален площади треугольника.) Из этого примера видно, что сохранить на поверхности шара понятие о параллелизме без добавочных условий невозможно.

Новая теория Эйнштейна вводит в неевклидову геометрию понятие о параллелизме следующим образом: в каждой точке четырехмерного пространства проводятся четыре взаимно перпендикулярные направления, образующие в каждой точке как бы систему прямоугольных осей. Про эти оси вводится допущение, что они в разных точках пространства параллельны друг другу. Нетрудно видеть, что для определения положения этих четырех осей необходимо задать в каждой точке значения шести величин, из которых первые три определяют положение первой оси, вторые две — положение второй оси, наконец последняя определяет положение третьей оси, для определения же четвертой оси не нужно задавать добавочных величин, так как достаточно того, что она перпендикулярна остальным осям. Между ними устанавливает Эйнштейн ряд соотношений, которые вводятся для того, чтобы придать понятию о параллелизме определенный смысл и которые, кроме того, должны

удовлетворять так называемому «требованию ковариантности». Это требование значит, что соотношения должны иметь одинаковую форму независимо от той координатной системы, с которой связан измеряющий геометрические свойства пространственно-временной совокупности наблюдатель. Требование ковариантности вообще играет основную роль в теории относительности. Оказывается, что выведенным для этих шести величин соотношениям возможно придать другую форму, а именно: определенные комбинации из этих величин возможно назвать (совершенно условно) слагающими электромагнитных сил и сил тяготения. Тогда окажется, что упомянутые соотношения превратятся в такие соотношения между электромагнитными и гравитационными силами, которые совершенно удовлетворительно оправдываются на опыте в случае пустого пространства. В этом заключается важнейший результат новой теории Эйнштейна. Отсюда видно, что электромагнитные силы уже не противопоставляются гравитационным, как это было в общей теории относительности Эйнштейна. Электромагнитные силы, как и силы тяготения, оказываются геометрическими характеристиками четырехмерной пространственно-временной протяженности.

В этом монистическом характере, позволяющем связать геометрию, тяготение и электричество в одно единое целое, заключается главное достоинство новой теории Эйнштейна. Эта теория приводит, таким образом, к своеобразному физическому мировоззрению, о построении которого уже несколько столетий назад мечтал знаменитый французский философ и математик Ренэ Декарт.

Следует сказать, однако, что теория Эйнштейна еще не построена до конца. Так, например, еще не решен вопрос о графиках движения материальных частиц в четырехмерной протяженности точек-событий под влиянием электромагнитных и гравитационных сил. Остается невыясненным, удастся ли на основании новой теории Эйнштейна вывести существование двух противоположных родов электричества и сделать, таким образом, шаг вперед по сравнению с теорией Германа Вейля. Точно так же остается решить вопрос об отношении новой теории Эйнштейна к теории квантов. Прерывный характер явлений, происходящих в чрезвычайно малых объемах, занятых отдельными атомами вещества, указывает с большой вероятностью на то, что эта прерывность должна найти свое отражение в геометрии, и что, таким образом, свойства пространственно-временной протяженности должны иметь квантовый, прерывный характер. Построение такой геометрии пространства и времени, из которой

вытекали бы не только законы тяготения и электромагнитного поля, но и квантовые законы,— вот величайшая задача, которая когда-либо стояла перед физикой.

М. П. Бронштейн. Эфир и его роль в старой и новой физике [69]

Судьбы физических теорий, как судьбы людей, пестры и разнообразны. Они отличаются друг от друга и продолжительностью жизни, и быстротой, с которой им удается занять в науке прочное положение, и широтой охватываемой ими области физических явлений, и упорством, с которым они отстаивают свое существование под напором новых, настойчиво требующих истолкования фактов. Но из всех теоретических построений физики вряд ли найдется хотя бы одно, которому выпало на долю больше странных и неожиданных превратностей, чем гипотезе эфира — одной из древнейших и важнейших физических гипотез. Эфир, как Протей, принимал всевозможные формы, подчинял своему владычеству все новые и новые области физики, расцветал и снова хирел (один раз был даже вовсе «упразднен»), одному поколению казался «более реальным, чем вода и воздух», а другому — «старым хламом, который нужно сдать в архив, как сданы туда флогистон и теплород». Каждая эпоха в истории физики имела свой особенный эфир; и от столетия к столетию эфир проносил неизменным только свое мистически звучащее имя и неограниченную претензию быть основным субстратом более или менее всеобъемлющей группы физических явлений.

Эфир родился в блестящих, хотя и не всегда научных спекуляциях философов античной Греции. В эти дни своей молодости эфир не исполнял никаких специальных обязанностей: не было ни одной конкретной области физических явлений, которую бы он был призван объяснять. Но он был нужен, как «пятая стихия», которую необходимо было добавить к известным четырем (земля, вода, воздух и огонь), чтобы иметь возможность производить их от общего корня и тем самым внести мнимую простоту в подавляющую сложность явлений внешнего мира.

Таким «философским эфиром» античный эфир оставался очень долго, и даже еще для Ньютона существование эфира было скорее философской аксиомой, чем физической теорией. Пресловутое «действие на расстоянии», т. е. возможность для тела вызывать своим присутствием, без помощи промежуточной среды, действие сил в точках пространства, в которых само тело не находится, претило здравому смыслу Ньютона в такой же мере, как и философскому гению Декарта и Лейбница. Вот почему Ньютон протестовал против такой возможности, столь любезной

епископу Беркли, и считал ее философски нелепой, полагая, что все такие мнимые «действия на расстоянии» (тяготение, взаимодействия намагниченных или наэлектризованных тел) должны в конечном счете объясняться действием промежуточной среды, которую он называл эфиром. Но, по мнению Ньютона, было еще слишком рано заниматься рассмотрением механизма такой передачи действия через эфирную среду, как это делал, например, Декарт, объяснявший движение планет увлекающим их эфирным вихрем. Поэтому Ньютон ограничивался математическим описанием «действий на расстоянии» и, допуская существование эфира, «не придумывал гипотез» о его физической природе.

Совершенно иначе относился к гипотезе эфира гениальный современник Ньютона Христиан Гюйгенс, который дал эфиру специальную физическую службу, заставив его объяснять оптические явления. Созданная Гюйгенсом гипотеза «светового эфира», мыслившегося в виде упругой материальной среды, через которую могут проноситься волны сжатия и разрежения, воспринимаемые нами, как световые явления, вела больше столетия неравную борьбу с ньютоновской корпускулярной теорией света (гипотезой истечения).

Только во второй четверти XIX в., после того как Юнг и Френель исследовали целый ряд явлений (интерференция, дифракция, поляризация света), легко объясняемых гипотезой о волнах в эфире, но почти не поддающихся истолкованию на почве гипотезы истечения, теория упругого светового эфира восторжествовала над своей соперницей (окончательным торжеством теории волн был опыт Физо, измерившего скорость света в воде и нашедшего, что она, в противность теории истечения, меньше, чем в воздухе). При этом пришлось отказаться от предположения Гюйгенса, что волны света суть продольные волны разрежения и сжатия, вполне аналогичные волнам, распространяющимся в газообразных телах (например, звуковым волнам); явления поляризации света могли быть объяснены лишь допущением, что световые волны являются поперечными волнами, как те поперечные упругие волны, какие могут распространяться лишь в телах, сопротивляющихся изменению своей формы, т. е. в упругих твердых телах.

Так возникла теория «твердого» эфира — чрезвычайно разреженной и вместе с тем необыкновенно упругой твердой среды, заполняющей все пространство Вселенной и пронизывающей все промежутки между атомами тел, оказывая при этом лишь самое ничтожное и не поддающееся измерению сопротивление движению этих тел. Построенная на этих

предположениях «механическая теория света» является одним из наиболее глубокомысленных созданий человеческого гения; но и она оказалась бессильной справиться с вставшими перед ней затруднениями.

Первое из таких затруднений заключалось в следующем: обычные упругие твердые тела сопротивляются не только изменению своей формы, но также и изменению объема. Поэтому через них могут распространяться не только, поперечные волны, но и продольные волны сжатия и разрежения, как в жидкостях и газах. Возникает вопрос: почему в световом эфире не наблюдаются явления, соответствующие распространению продольных воли? Помешать такому распространению могли бы только два обстоятельства: или эфир не обладает никакой упругостью по отношению к изменениям объема, т. е. при его сжатии или разрежении в нем вовсе не возникают силы, сопротивляющиеся такому сжатию или разрежению; или же в эфире никакие сжатия или разрежения вообще невозможны. Первое предположение соответствует беспредельно сжимаемому эфиру, второе — абсолютно несжимаемому.

Теорией абсолютно несжимаемого эфира занимался английский математик Джордж Грин. Получить наглядное представление об эфире Грина возможно, сравнив его с каким-либо твердым телом, у которого сопротивление изменению объема чрезвычайно велико по сравнению с сопротивлением изменению формы. Таков, например, каучук или в особенности желатина. Несжимаемый эфир Грина соответствует предельному случаю бесконечно большой скорости распространения продольных колебаний. Теория Грина встретила ряд возражений. В частности, оказалось, что эта теория приводит к расходящемуся с опытом результату в вопросе об изменении интенсивности и состояния поляризации в отраженных и преломленных лучах по сравнению с лучами падающими.

Поэтому в 80-х годах прошлого века лорд Кельвин разработал теорию беспредельно сжимаемого эфира (вторую из упомянутых возможностей). И в этой теории встречаются серьезные затруднения. Важнейшим является то, что эфир, не оказывающий никакого сопротивления сжатию, должен быть механически неустойчив. Такая неустойчивость могла бы быть устранена, если предположить, что эфир неподвижно укреплен на каких-то границах. Простейшую модель такого эфира представляла бы пена, заключенная в сосуде, к стенкам которого она прилипает и который не содержит воздуха. Однако трудно предположить, чтобы в природе могло быть нечто вроде гигантского ящика, заключающего всю звездную Вселенную, к стенкам которого

неподвижно прикреплен эфир. Поэтому и эфир Кельвина, соответствующий предельному случаю бесконечно малой скорости продольных волн, тоже не может считаться удовлетворительным средством механического объяснения световых явлений. Насколько неопределенными были взгляды самого Кельвина на этот вопрос, показывает то обстоятельство, что наряду с теорией упругого твердого, беспредельно сжимаемого эфира он разрабатывал также вихревую теорию атомов, согласно которой атомы вещества представляют собой вихри в некоторой среде, называемой им эфиром и обладающей свойствами не упругого твердого тела, а идеальной (т. е. лишенной вязкости) жидкости. Свойства вихревых колец в идеальной жидкости были математически исследованы Гельмгольцем, который показал, например, что такие вихри, раз образовавшись, не могут уничтожиться (что, по Кельвину, представляет истинный смысл закона сохранения вещества).

Разумеется, эфиру было очень трудно справляться сразу с таким количеством обязанностей (объяснение световых явлений, объяснение свойств атомов), тем более, что со времен Фарадея (т. е. с середины прошлого века) на обязанности эфира лежало также механическое истолкование обширнейшей области электрических и магнитных явлений. Когда Клерк Максвелл «перевел взгляды Фарадея на математический язык», на основе его математической теории выросла «электромагнитная теория света», трактовавшая свет как переменное электромагнитное поле. Важнейшие свойства световых явлений смогли быть выведены из уравнений электромагнетизма («уравнений Максвелла»), и с тех пор различные задачи объяснения оптических и электромагнитных явлений стали одной и той же задачей. В своем знаменитом «Трактате об электричестве и магнетизме» Максвелл показал, что в известных пределах возможно обойтись и без детальной модели эфира, сделав лишь несколько общих предположений о механической природе электромагнитных явлений. Важнейшим является то, что электрическая энергия считается потенциальной энергией упругих деформаций эфира, а магнитная энергия — кинетической энергией происходящих в эфире движений. Это соответствует и предположению Фарадея, считавшего электрическое поле системой натяжений в эфире, а магнитное поле — системой вихревых движений.

Такой эфир, по мысли Максвелла, может рассматриваться, как механизм со скрытыми частями. Это значит, что не все величины, определяющие собой расположение частей механизма, могут быть наблюдены или измерены. Некоторые из этих величин, называемых условно «координатами» механизма,

доступны измерению, другие измерению недоступны, но зато у некоторых из этих последних может быть измерена быстрота их изменения во времени. Максвелл полагал, что механизм эфира обладает свойствами, позволяющими в ряде случаев изучать с помощью обычной механики законы изменения во времени доступных измерению величин (т. е. законы движения явных частей механизма), не зная ничего о скрытых его частях.

Максвелл предлагает такую аналогию: пусть имеется какая-то машина в запертой комнате, соединенная с веревками, концы которых свешиваются через отверстия в полу в другую комнату в нижнем этаже. Человек, вошедший в нижний этаж, не может видеть самой машины, но, дергая за одну из веревок, замечает, что и другие веревки при этом приходят в движение; отсюда он заключает о существовании какого-то соединяющего их механизма. Скрытые части этого механизма недоступны его наблюдению, но он в состоянии прийти к некоторым выводам относительно веревок (которые можно трактовать, как явные части того же самого механизма), если только он допустит, что скрытые части подчиняются законам механики. Так, например, он находит из опыта, что при опускании конца веревки *А* на один дюйм, конец веревки *Б* поднимается на два дюйма. Механизм, соединяющий веревки *А* и *Б,* может быть различен (это мог бы быть рычаг, или блок, или даже часовой механизм), но если только он подчиняется законам механики, то можно заранее сказать, что груз, подвешенный к веревке *А,* может быть уравновешен вдвое меньшим грузом, подвешенным к веревке *Б* (это следствие основного закона статики — так называемого «начала возможных перемещений»).

Уравнения электромагнитного поля также трактовались Максвеллом как результат применения законов механики к эфирному механизму, многие части которого скрыты. Одно время могло казаться, что такой способ трактовки электромагнитных явлений обещает много плодотворных результатов, но через некоторое время разразился кризис, разрешившийся уже только в начале нынешнего столетия.

Этот кризис, из которого эфир вышел потерявшим свою материальную природу (а по мнению некоторых, даже и вовсе не вышел живым), возник в связи с изучением электромагнитных (и в том числе оптических) явлений в движущихся телах. Задача, которая привела к такому кризису, заключалась в определении той скорости, с которой наша планета движется сквозь предполагаемую эфирную среду. Принципиальная возможность определения этой скорости вытекает из того обстоятельства, что если эфир представляет материальную среду, то

электромагнитные и оптические свойства тела, движущегося сквозь эту среду, не могут быть по всем направлениям одинаковыми.

Представим себе утку, плывущую по поверхности пруда и периодически ударяющую по поверхности воды лапкой. От лапки во все стороны по воде бегут волны. Эти волны представляют собой бегущие по воде круги, но ясно, что сама утка не будет в центре такого круга. В самом деле, пока вызванное ударом утиной лапки волнение дойдет до окружности круга, утка успеет передвинуться на некоторое расстояние и будет поэтому ближе к одному краю круга, чем к другому. Это значит, что перемещающийся гребень волн будет по одному направлению дальше отстоять от утки, чем по другому, т. е. что скорость распространения волны относительно утки будет по одному направлению иная, чем по другому. Это заключение основано на том, что утка перемещается относительно воды, а не увлекает ее с собою, и на том, что волнение, вызванное движущейся уткой, распространяется по поверхности воды с такой же скоростью, как если бы утка была неподвижна. Если удастся оба эти положения распространить и на световые волны (источник света играет роль утки), то можно было бы утверждать, что скорость света от движущегося источника, *измеренная по отношению к этому источнику,* должна быть различна по разным направлениям. Посмотрим, можно ли в самом деле распространить эти утверждения на эфир. Увлекается ли эфир движущимися телами? Иными словами, прибавляется ли к скорости света, распространяющегося в движущейся среде, скорость этой среды? Этот вопрос был исследован еще Френелем, который вывел теоретически, что к скорости света, распространяющегося в движущейся среде, прибавляется не вся скорость среды, а часть ее, зависящая от показателя преломления этой среды. Если показатель преломления равен единице, что практически имеет место для воздуха, то прибавляющаяся к скорости света часть скорости среды обращается в нуль, т. е. эфир в этом случае не увлекается вовсе. Справедливость формулы Френеля проверил на опыте Физо, который измерял скорость света в движущейся воде (подразумевается скорость света не по отношению к воде, а по отношению к источнику света, находящемуся вне струи воды, т. е. неподвижному). Вывод Френеля может быть подтвержден также из рассмотрения явления аберрации света, т. е. кажущегося смещения неподвижных звезд к той точке небесного свода, куда в данный момент направлена скорость движения Земли вокруг Солнца. Для телескопа, наполненного воздухом, справедливость формулы Френеля подтверждается астрономами, так сказать,

еженощно; для телескопа же, наполненного водой, формула Френеля была подтверждена лишь в 1871 г. английским физиком Эйри. Так как в дальнейшем мы предполагаем распространение света в воздухе, то можем считать, что *эфир при движении не увлекается.*

Второй вопрос, который нужно решить, чтобы знать, имеем ли мы право применять к оптическим явлениям то, что выше было выведено для случая плывущей утки, состоит в том, зависит ли от движения источника скорость его света, измеренная по отношению к среде, относительно которой источник движется. Волновая теория света отвечает на этот вопрос отрицательно, но окончательным судьей может быть только физический опыт или астрономическое наблюдение. Ведь волновая теория света в конце концов не является обязательным догматом, и еще в этом столетии швейцарский физик В. Ритц предлагал так называемую «баллистическую гипотезу», согласно которой скорость источника прибавляется к скорости света для луча, вышедшего по направлению движения источника, и вычитается в случае обратного направления (баллистической гипотеза называется потому, что таким же точно образом влияет скорость движения артиллерийского орудия на скорость вылетающего из него снаряда). Гипотеза Ритца была опровергнута голландским астрономом де Ситтером, который указал на то, что в случае ее справедливости происходило бы кажущееся вытягивание орбит двойных звезд по направлению к Земле, вследствие чего большие полуоси этих орбит были бы направлены преимущественно к Земле, чего в действительности не наблюдается. Из этой работы де Ситтера и из некоторых других работ можно сделать заключение: скорость источника света не влияет на скорость распространения света в эфире. Таким образом, верно и то заключение, о котором мы сказали выше: скорость света, измеренная на движущейся Земле, должна быть разной по разным направлениям, и изучение этой скорости в различных направлениях позволит решить вопрос о направлении и величине скорости движения Земли сквозь эфир. Это верно в том случае, если эфирная среда представляет материальный океан, так что вообще имеет смысл говорить о перемещении Земли по отношению к такому океану.

Измерение скорости света в различных направлениях было осуществлено в знаменитом опыте Майкельсона (1881 г.). Здесь не место входить в детали описания этого опыта, тем более, что он общеизвестен; для нас важно лишь то, что из этого опыта вытекает равенство скорости света по всем направлениям, что противоречит сделанному выше выводу и делает невозможным

обнаружение таким способом скорости Земли по отношению к эфиру. Другие попытки обнаружить эту скорость также кончились неудачей: из них назовем опыт Рэлея и Брэса, в котором нужно было обнаружить вытекавшее из теории двойное лучепреломление в воде, стекле и сероуглероде, вызванное движением Земли сквозь эфир (никакого двойного лучепреломления в действительности не наблюдалось); затем опыт Траутона и Рэнкина, которые так же тщетно пытались обнаружить другой предсказываемый теорией эффект движения Земли сквозь эфир, а именно изменение электрического сопротивления проволоки при изменении ее направления относительно направления предполагаемой скорости Земли; наконец опыт Траутона и Нобля, пытавшихся измерить скорость движения Земли сквозь эфир по тем силам, которые это движение должны вызвать в электрическом конденсаторе.

Все опыты, а также построенный на их основании Эйнштейном специальный принцип относительности приводят к заключению: скорость движения Земли сквозь эфир измерена быть не может, как будто все силы природы вступили между собой в заговор — скрыть от физиков величину и направление этой скорости. Итак тело, покоящееся в эфире, никакими способами не может быть отличено от тела, движущегося в нем. Но это бессмысленно, если эфир представляет материальную среду, части которой могут быть отличены друг от друга; движение относительно материальной среды не может быть эквивалентно покою в ней. Не желая, по-видимому, иметь дело с лишенным общеизвестных свойств материи эфиром, физики сделали вывод (по крайней мере, большинство из них), что эфира не существует вовсе! и что раз он не может быть найден из опыта (точней, не самый эфир, а покой в нем), то нет никакого смысла о нем говорить. По мнению Борна, это было началом того гонения на «принципиально ненаблюдаемые величины», которое в современной физике привело к созданию «матричной механики» Гейзенберга, Борна и Иордана и к тому, что физика теперь не решается говорить о такой, например, величине, как расстояние электрона до ядра в атоме (ибо расстояние для современного физика есть то, что измеряется линейкой, а даже сам тульский левша, который «аглицкую блоху на подковы подковал», не умудрится приготовить линейку для измерения расстояния электрона до ядра в атоме).

Такова была смерть эфира, случившаяся в первое десятилетие этого века; но рассказ о нем не кончается на этом. Как Юлий Цезарь в шекспировской трагедии, убитый физически в третьем акте, остается тем не менее героем остальных двух и его убийца

Брут вынужден разговаривать с его бесплотным призраком, так и эфир, как оказалось впоследствии, был убит лишь «физически», но остался одним из героев физики, и даже Эйнштейн, главнейший его убийца, должен был вступить в переговоры с привидением (см., например, его лейденскую речь «Эфир и принцип относительности», 1920 г., есть и русский перевод).

Случилось это следующим образом: дальнейшее развитие принципа относительности привело к «общей теории относительности», представляющей нечто вроде геометрии пространства и времени, в которой чисто физические величины, такие, как силы тяготения, выводятся из геометрических величии (из десяти так называемых «компонент метрического фундаментального тензора», значение которых задается в каждом точечном «событии», т. е. в каждой точке пространства в каждый момент времени). В новейшей форме теории относительности (в так называемой «единой теории поля») вместо 10 геометрических величин вводится 16, из которых зато могут быть вычислены не только силы тяготения, но и электромагнитные силы. Но ясно, что физические величины не могли бы быть выведены из геометрических, если бы уже каким-то образом не заключались в них; и если физика становится геометрией пространства и времени, то эта геометрия в такой же мере становится физикой. Пространство, которое обладает геометрическими свойствами, влияющими на материю и в свою очередь обусловленными этой материей, уже перестает быть пространством просто, а становится чем-то большим, чем пространство, т. е. *средой* (хотя бы и не материальной). Нельзя удивляться тому, что эта среда получила название эфира. Как ни мало общего у этого нового эфира с упругим твердым эфиром Юнга и Френеля, все же он по-прежнему является носителем световых (а также и вообще электромагнитных) явлений, причем вместе с тем он объясняет и явления тяготения.

Отрицать эфир, по словам Эйнштейна, значило бы допускать, что пустое пространство не имеет никаких физических свойств. В действительности оно обладает большим количеством свойств (если судить по тому, что для их описания единая теория поля употребляет 16 функций); но не следует только представлять его, себе состоящим из частей, по отношению к которым имеет смысл понятие движения. Эйнштейн по этому поводу говорит следующее: «Называемое "пустым" пространство в физическом отношении ни однородно, ни изотропно: мы вынуждены описывать его состояние с помощью десяти функций — гравитационных потенциалов. Но, таким образом, и понятие эфира снова приобретает определенное содержание, которое

совершенно отлично от содержания понятия эфира механической колебательной теории. Эфир всеобщей теории относительности есть среда, сама по себе лишенная всех механических и кинематических свойств, но в то же время определяющая механические и электромагнитные события».

Примерно так же высказывается об эфире и Эд-дингтон (в его последней книге «Природа физического мира», Кембридж, 1928 г., русского перевода нет). Эд-дингтон говорит: «Нельзя думать, что эфир упразднен. Эфир нам нужен. Физический мир не может быть разложен на изолированные частицы материи или электричества, пространство между которыми лишено всяких свойств. Этому "пустому" пространству приходится приписывать так же много свойств, как и самим частицам, и современной физике понадобилась целая армия математических символов, чтобы описать, что происходит в пустом пространстве. Мы постулируем, что эфир обладает свойствами этого пространства, как материя или электричество — свойствами частиц... В прошлом столетии было широко распространено мнение, что эфир представляет нечто вроде материи, обладая массой, твердостью, движением, как и обычная материя... Теперь решено, что эфир не является чем-то вроде материи. Не будучи материальным, он обладает свойствами совершенно другого рода. Эти свойства должны быть найдены из опыта».

Эфир подобного рода отличается, конечно, высокой степенью эластичности — не в том смысле, в каком это слово могло бы употребляться в теории Юнга и Френеля, а в том, что такой эфир не обязался удовлетворять ни одному предвзятому мнению, и опыт в состоянии только изменить о нем представления, но не упразднить его существование. После того как ему случилось один раз умереть, он стал отличаться необыкновенной живучестью. В конце концов спор о существовании эфира становится спором о словах, вроде известной дискуссии между китайскими учеными и иезуитскими миссионерами о том, в какую сторону указывает магнитная стрелка, на юг или на север. Но никто не в состоянии воспрепятствовать физикам употреблять ту терминологию, какая им удобна, поэтому физики и будут пользоваться понятием эфира, хотя и значительно, как мы видели, отличным от того, что подразумевалось под эфиром в прошлом столетии.

Фотографии и рисунки

Матвей (слева) и Исидор Бронштейны в шесть лет.

«Вот мой теперешний вид: натурализм полный, вплоть до небритости щек (снято для трамвайной карточки). 1928 г.» (надпись на обороте фотографии)

Матвей, Михалина и Исидор Бронштейны. Киев, лето 1928 г.

В. А. Амбарцумян, Н. А. Козырев, М. П. Бронштейн и И. А. Кибель перед поездкой в Армению. Лето 1929 г.

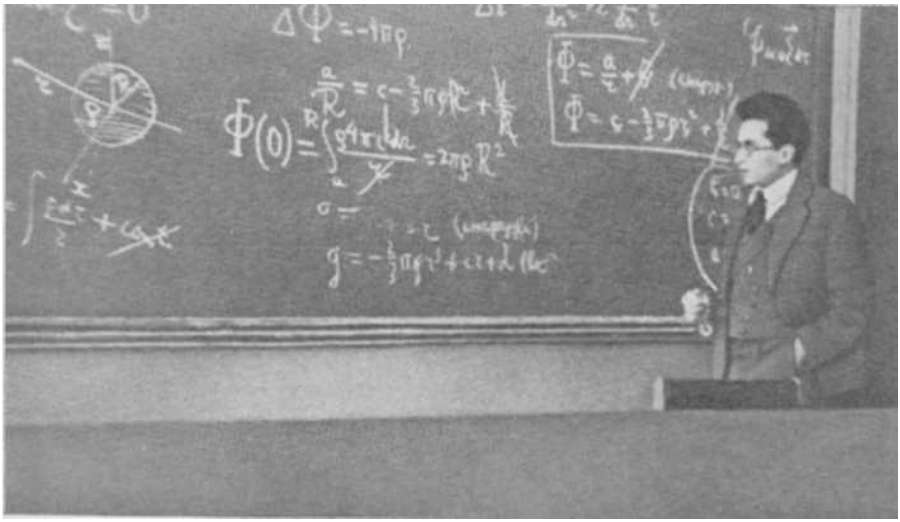
Матвей Петрович с родителями, сестрой и племянником

Дома у сестер Канегиссер. Л. Д. Ландау, Е. Н. Канегиссер, В. А. Амбарцумян, (?), Н. Н. Канегиссер, М. П. Бронштейн

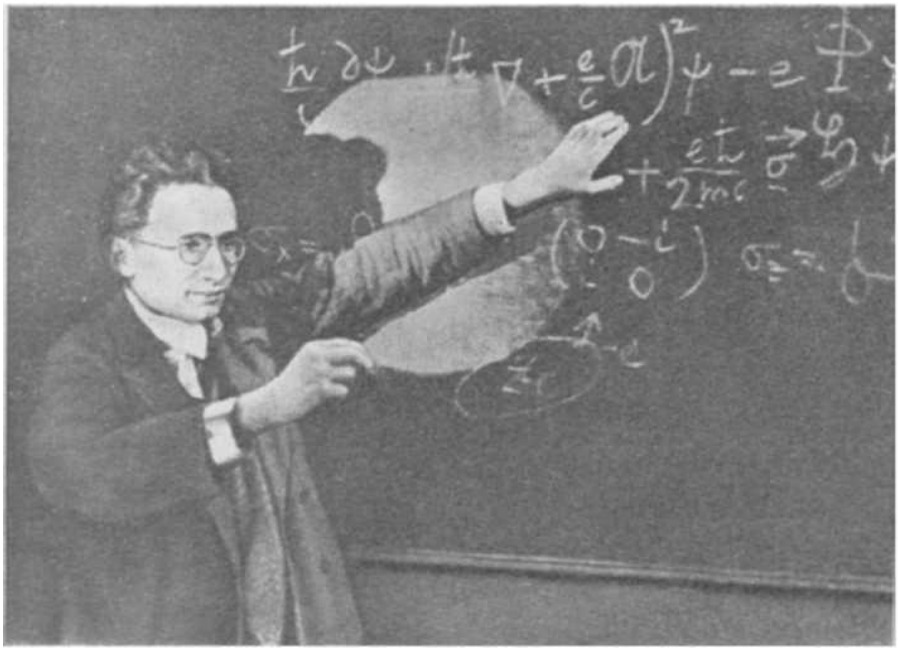
В 1931 г. состоялась Первая Всесоюзная конференция по

планированию науки. Шарж иллюстрирует мнение Бронштейна по этому вопросу.

М. П. Бронштейн. Рисунок Я. И. Френкеля



М. П. Бронштейн читает лекцию по теории гравитации



М. П. Бронштейн читает лекцию по квантовой механике

Зарисовки-шаржи участников Первой ядерной конференции Ленинград, сентябрь 1933 г. (Художник Н. А. Мамонтов)

И. В. Курчатов

П. А. М. Дирак

А. Ф. Иоффе

Ф. Жолио

Г. А. Гамов

В. А. Фок

Я. И. Френкель

М. П. Бронштейн

М. П. Бронштейн Одна из последних фотографий

На обложке книги помещена фотография М. П. Бронштейна 1935 г., приклеенная к его анкете в Ленинградском физико-техническом институте

Даты жизни Матвея Петровича Бронштейна

1906, 2 декабря - родился в Виннице

1925— первые научные публикации (о фотонной структуре рентгеновского излучения)

1926— поступил в Ленинградский университет

— работы по астрофизике, первая научно-популярная книга

— окончил ЛГУ и поступил на работу в теоретический отдел Ленинградского Физико-технического института

1932 — работы по теории полупроводников

1934 — первая научно-художественная книга «Солнечное вещество»

1935, ноябрь — защита докторской диссертации «Квантование гравитационных волн»

1936— публикация работ по квантованию слабого гравитационного поля

1937— работа о невозможности спонтанного распада фотона, обосновавшая факт расширения Вселенной

6 августа — арест в доме родителей в Киеве

18 февраля — приговор Военной коллегии Верховного суда и смерть

Научное издание

Матвей Петрович Бронштейн 1906-1938

Утверждено к печати Редколлегией серии «Научно-биографическая литература» АН СССР

Редактор издательства Э. С. Павлинова

Художник А. Г. Кобрин Художественный редактор А. В. Эдрилько

Технический редактор И. В. Чудецкая Корректоры А. Б. Васильев, Т. М. Ефимова ИБ № 39716 Сдано в набор 10.07.89 Подписано к печати 25.01.90 Т-03837. Формат 84х1081/з2 Бумага типографская № 2 Гарнитура обыкновенная новая Печать высокая Усл. печ. л. 14,7. Усл. кр. отт. 14,91. Уч.-изд. л. 15,6 Тираж 1350 экз. Тип. зак. 3748 Цена 95 коп. Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Наука»

117864, ГСП-7, Москва, В-485, Профсоюзная ул., 90 2-я типография издательства «Наука» 121099, Москва, Г-99, Шубинский пер., 6

РЕДКОЛЛЕГИЯ СЕРИИ И ИСТОРИКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКАЯ КОМИССИЯ ИНСТИТУТА ИСТОРИИ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ И ТЕХНИКИ АН СССР ПО РАЗРАБОТКЕ НАУЧНЫХ БИОГРАФИЙ ДЕЯТЕЛЕЙ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ И ТЕХНИКИ:

А. Т. Григорьян, В. И. Кузнецов, В. В. Левшин, С. Р. Микулинский, Д. В .Ознобишин, З.К. Соколовская (ученый секретарь), В. Н. Сокольский, Ю. И. Соловьев, А. С. Федоров (зам. председателя), И.А.Федосеев (зам. председателя), А. П. Юшкевич, А. Л. Яншин (председатель), М. Г. Ярошевский

Рецензенты: член-корреспондент АН СССР В. Е. ГОЛАНТ, кандидат физико-математических наук Вл. П. ВИЗГИН

Ответственный редактор Б. М. БОЛОТОВСКИЙ

ББК 22 г Г67 УДК 53(091) Бронштейн М. П.

Г 67 Матвей Петрович Бронштейн: 1906—1938/ Г. Е. Горелик, В. Я. Френкель.— М.: Наука. 1990.—272 с., ил.— (Научно-биографическая серия).

ISBN 5-02-000670-X

1604030000—034 Г 054 (02)-90 55-89 НПЛББК 22г

© Г. Е. Горелик,

ISBN 5-02-000670-XВ. Я. Френкель, 1990

notes

Примечания

1

Черта оседлости - в царской России: территория, вне которой евреи могли жить только на особых условиях.

2

П. С. Тартаковский родился в Киеве в 1895 г. в семье известного врача-терапевта С. Ф. Тартаковского, профессора университета и заведующего клиникой. В 1918 г. окончил Киевский университет и был оставлен ассистентом. Его первые научные работы посвящены квантовой теории. В 1925 г. по приглашению А. Ф. Иоффе приехал в Ленинград, возглавил лабораторию ЛФТИ и преподавал в Ленинградском политехническом институте. В 1929 г. переехал в Томск, чтобы участвовать в создании Сибирского физико-технического института. В 1937 г. вернулся в Ленинград, организовал и возглавил кафедру технической электроники в ЛПИ и кафедру теоретической физики в Педагогическом институте им. Герцена. Его главные научные результаты — эксперименты по дифракции медленных электронов на кристаллах (1927 г.) и по фотоэффекту в диэлектриках (30-е годы). Важную роль в научной жизни СССР сыграли его обзорные и научно-популярные книги и статьи. Умер П. С. Тартаковский в 1940 г. от болезни сердца. (Авторы благодарны Г. П. Тартаковскому за сведения о его отце.) между различными социальными группами были зыбки, легко проницаемы. Бронштейн, формально не имевший даже среднего образования, но фактически уже обладавший знаниями для начала научной работы, участвовал в работе кружка вместе со студентами университета (называющегося тогда Киевским институтом народного образования).

3

Книга была написана на основе курса лекций, который Тартаковский прочитал в осеннем семестре 1926 г. студентам физико-механического факультета ЛПИ.

4

Особого внимания заслуживает отзыв Л. И. Кордыша (18781932), профессора университета и члена-корреспондента Всеукраинской академии наук. Это был физик, активно интересовавшийся последними достижениями науки; до революции он побывал у Планка и Пуанкаре. Ему принадлежит первая в России публикация по общей теории относительности [206]. Столь раннее его знакомство с ОТО стало возможным потому, что на Украину, оккупированную германской армией, поступали немецкие физические журналы. Основная же часть российской физики еще несколько лет была изолирована от мировой физической литературы.

Кордыш большое внимание уделял педагогической работе, был организатором первого в Киеве рабфака. А в 1923 г. он преподавал электро- и радиотехнику в киевском электротехникуме. Вполне возможно, что это он заметил способности студента М. Бронштейна и посоветовал ему посещать кружок при университете.

5

А. Г. Гольдман (1884—1971) — организатор и руководитель Киевской научно-исследовательской кафедры физики (впоследствии Киевского научно-исследовательского института физики), профессор Киевского политехнического института, С 1929 г. академик АН УССР.

6

Без экзамена поступали после рабфака. Трудные условия учебы и жизни определяли очень большой отсев, до трех четвертей.

7

В 1928 г. из Ленинграда в Копенгаген Гамову была отправлена телеграмма: «Фок сделал Клейна. Две трети ленинградской шпаны».

В Джаз-банд входили еще А. И. Ансельм, Е. Н. Канегис-сер, В. Кравцов, И. Сокольская.

8

Открытие Америки. Песнь первая // *Гумилев Н. С.* Чужое небо, СПб., 1912.

9

С. К. Костинский (1867-1936) - член-корреспондент АН СССР, старший астроном Пулковской обсерватории, читал в ЛГУ лекции по фотографической астрометрии. По характеристике Д. Я. Мартынова, «педантичный и самодовольный» С. К. Костинский «имел склонность веско говорить тривиальные вещи» [Там же, с. 431, 434]. В журнале же, который он настойчиво пытался раздобыть, содержались весьма нетривиальные характеристики событий астрономической жизни и их участников.

10

Выдающийся немецкий математик Э. Хопф (род. 1902) в то время работал в Берлинском университете. Из его занятий математическими вопросами переноса излучения выросли уравнение и метод Винера—Хопфа.

А в добавлении к корректуре (датированном декабрем 1930 г.) приведена более точная оценка, принадлежащая В. А. Амбарцумяну, - еще одно свидетельство их сотрудничества.

В специальном пространном примечании к этой статье Милн счел необходимым отметить, что значение q(0) было получено независимо Бронштейном и Хопфом, что он — Милн - получил в одной пачке корреспонденции журнал со статьей Бронштейна и рукопись Хопфа (впоследствии опубликованную в «Monthly Notices») и что поэтому приоритет принадлежит Бронштейну.

12

Для тех, кто впервые встречается с этим словом, рожденным в послереволюционные годы, поясним: самоуплотниться — вселить в свою квартиру по собственному выбору жильцов, с тем чтобы в результате жилплощадь, деленная на общее количество жильцов, стала меньше надлежащей нормы.

13

Соломон Абрамович Рейсер (род. 1905 г.) — литературовед, текстолог, профессор Ленинградского института культуры им. Крупской.

14

В 30-е годы месяц делился на пять шестидневок; свободными днями были 6, 12, 18, 24 и 30-е числа. Дни шестидневки назывались первым, вторым и т. д.

15

Р. Пайерлс, приезжавший в июне 1985 г. в СССР, во время доклада в ЛфТИ показал несколько фотографий 55-летней давности. Судя но выражению лиц, Паули, Френкель, Тамм и Саймон, запечатленные в живописных купальных костюмах, продолжали научные дискуссии и на пляже. А, как свидетельствуют другие фотографии, молодые физики на пляже не только вели ученые разговоры, но и развлекались вовсю: при участии героя нашей книги разыгрывали сценки, дружно подкреплялись кукурузой и просто дурачились.

16

Этот научно-популярный журнал, называвший себя центральным органом научной информации в СССР, был рассчитан на высокий уровень читателя. В редколлегию входили А. Ф. Иоффе, В. Ф. Каган, Э. В. Шпольский, О. Ю. Шмидт (отв. редактор). В 1931 г. на смену этому журналу пришел больший по объему журнал «Сорена» (Социалистическая реконструкция и наука).

17

Бронштейн отмечает, что «представление о дискретном пространстве... возникало уже много веков назад на основании соображений, имеющих мало общего с физикой. Спор о том, дискретно ли пространство или непрерывно, происходил еще в средние века между еврейскими и арабскими богословами (об этом см. у Kurt Lasswitz'a «Geschichte der Atomistik»)», однако «предшественники новой дискретной геометрии мало интересовались такими пустяками, как релятивистская инвариантность».

18

Коротко поясним. Книга Дирака «Основы квантовой механики», переведенная Бронштейном и с его примечаниями, вышла в 1932 г. под редакцией Иваненко; автор привез английскую корректуру на упомянутое харьковское совещание. Легко догадаться, что Бронштейн получил от Френкеля совет не просиживать брюки. Привет жене Я. И. Френкеля — вовсе не только дань вежливости, Бронштейн очень ценил ее тонкий ум и обаяние. Вместе с тем общий тон письма и не очень почтительное упоминание А. Ф. Иоффе выразительно характеризуют отношения «старших и младших», о чем мы еще поговорим.

19

Перефразировка ходившего в Германии двустишия о непостижимости общей теории относительности: замена das Krtim-mungsmass (кривизна) на die Quantelung.

20

К предыстории можно отнести идею «атомов времени», высказанную А. Пуанкаре еще на первом, планковском, этапе квантовой теории [168, с. 27].

21

Как известно, одна из главных целей знатоков Талмуда - выводить законы для постоянно возникающих новых жизненных явлений из «первых принципов» Библии.

22

Различие между физическим мировосприятием и математическим ясно проявилось в связи с вейлевской единой теорией. Вейль явно был обижен «в лучших своих физических чувствах», когда физики не оценили его воплощения идеи близкодействия, более последовательного, чем «половинчатый» подход Эйнштейна, воплощенный в ОТО [170]. История не раз показывала, что математическая последовательность может вести в физический ад.

23

Математиком Фридмана называли также Фредерикс и Фок; следуя нынешнему словоупотреблению, его следовало бы назвать механиком. Бронштейн напоминает о «грубой ошибке» Эйнштейна, из-за которой тот вначале счел работу Фридмана неверной. Хоть модель Леметра 1927 г. не содержала принципиально нового по сравнению с моделью Фридмана, о пионере нестатической космологии вспоминали немногие, в числе которых, однако, был Эйнштейн.

24

Хотя Фредерикс в то время возглавлял в Физтехе бригаду по изучению жидких кристаллов, его участие в такой статье вполне естественно - Фредерикс был одним из главных действующих лиц истории ОТО в нашей стране. Волею судеб к началу мировой войны он оказался в Германии, в Геттин-гене, где работал у Гильберта. Как российский подданный, он был интернирован, но благодаря заступничеству знаменитого математика остался его ассистентом. И рождение ОТО (в конце 1915 г.), при активном, как известно, участии Гильберта, происходило на его глазах. Как только позволили международные обстоятельства, Фредерикс вернулся в Россию (в 1919 г.) и стал здесь, пожалуй, самым активным пропагандистом релятивистских идей. В 1921 г. в УФН появился первый обзор по ОТО, принадлежащий ему. Он сыграл стимулирующую роль при освоении А. А. Фридманом теории относительности. Вместе с Фридманом они начали писать капитальный курс «Основы теории относительности»; вышла только первая часть (1924) [131].

25

Эти выдержки прислала Е. Н. Канегиссер в письме Г. Е. Горелику от 10.4.1984 г.

26

В то время широкой известностью пользовались биологические эксперименты по омоложению. Воронов - один из таких экспериментаторов. Письмо, которое Ландау послал Капице 25.11.1931, гласило:

«Дорогой Петр Леонидович, необходимо избрать Джони Гамова академиком. Ведь он бесспорно лучший теоретик СССР. По этому поводу Абрау (не Дюрсо, а Иоффе) из легкой зависти старается оказывать противодействие. Нужно обуздать распоясавшегося старикана, возомнившего о себе бог знает что. Будьте такой добренький, пришлите письмо на имя непременного секретаря Академии наук, где как член-корреспондент Академии восхвалите Джони; лучше пришлите его на мой адрес, чтобы я мог одновременно опубликовать таковое в «Правде» или «Известиях» вместе с письмами Бора и других. Особенно замечательно было бы, если бы Вам удалось привлечь к таковому посланию также и Крокодила! Ваш Л. Ландау.»

Капица ответил 3.12.31:

«Дорогой Ландау, что Академию омолодить полезно, согласен. Что Джони — подходящая обезьянья железа, очень возможно. Но я не доктор Воронов и не в свои дела соваться не люблю. Ваш П. Капица».

Судя по ответу, Крокодил (Резерфорд) остался вне этой истории. (Благодарим П. Е. Рубинина за сведения из архива П. Л. Капицы.)

Физтех часто называли «Рентгеновским институтом». [15] О тогдашней ситуации с законом сохранения энергии см. главу 4.

28

Текст между приведенными двустишиями: «Чего хотите вы от этаких людей?! / Уже до атома добрался лиходей! / Мильоны атомов на острие иголки! / А он — ведь до чего механика хитра! — / В отдельном атоме добрался до ядра! / Раз! Раз! И от ядра остались осколки! / Советский тип — (Сигнал для всех Европ!) / Кощунственно решил загадку из загадок! / Ведь это что ж? прямой подкоп / Под установленный порядок?» (стихотворение опубликовано 25.11.1928 г., а в 1930 г. вторично, в 14-м томе полного собрания сочинений Д. Бедного [106]).

Свидетельством этого можно считать совместную работу Бронштейна и Френкеля 1930 г. [9]. Обстоятельства, которые привели к ней, точно не известны. Можно, однако, предположить, что обсуждался результат Раби [256] - возникновение уровней у электронов в магнитном поле, и Френкель объяснил его простейшим путем, применив боровские постулаты. Большего, с его стилем мышления, было не нужно: эффект понят на простой модели и вычислен простейшим способом. Бронштейну этого было недостаточно: если квантование действительно существует и не обязано релятивизму (как это выглядело у Раби), то его надо получить из уравнения Шре-дингера. Решение этой задачи подтвердило «простой» результат, но вместе с тем уточнило и обосновало его. Два подхода к получению результата иллюстрируют стили старшего и младшего авторов статьи.

30

Физиков, занимавшихся ядром, было в 1933 г. очень немного — в СССР не более полусотни человек (примерная численность одной современной лаборатории). Вдвое большее число получило персональные приглашения на конференцию. Их следовало, по мнению организаторов, вовлечь в работу по ядру. Однако желающих приехать на конференцию было еще больше (в архиве ЛФТИ сохранились заявки).

31

А освоению новой области физики в стенах самого Физтеха несомненно способствовало кукольное представление, поставленное вскоре после конференции с помощью театра Е. Деммени. Сценарий для этого спектакля на основе последних событий в физике писал Бронштейн. После представления куклы были подарены их прототипам [199].

Осталось свидетельство этой борьбы: в оглавлении книги указан раздел «От переводчиков» (которого в книге нет) и не указаны разделы «От издательства» и «От редактора», в книге присутствующие. Иваненко, репрессированный в 1935 г., в то время был уже освобожден (и работал в Томском физико-техническом институте).

Будем называть так для краткости идею ограниченной применимости закона сохранения энергии. Для облегчения текста будем также употреблять аббревиатуры ЗС и ГН (закон сохранения и гипотеза несохранения).

Авторы благодарны Р. Пайерлсу за возможность познако$_3$миться с рукописью его статьи [247] до ее выхода.

35

Речь идет о так называемой азотной катастрофе. Свойства атомного ядра существенно зависят от четности числа составляющих его частиц. Ядро, состоящее из k нейтронов и l протонов, в те - донейтронные - времена считалось состоящим из $k + l$ протонов и k электронов. Четности чисел $k+l$ и $2k + l$, вообще говоря, не совпадают (в частности, для азота).

Напомним, что гипотеза Дирака о гравитационной константе, зависящей от космологического времени, появилась в 1937 г. [170]. Не исключено, что между этими идеями была связь. Дирак присутствовал на Первой Всесоюзной ядерной конференции 1933 г., на которой Бронштейн делал доклад «Космологические проблемы» (см. разд. 3.10).

Правда, автором этого достижения почему-то назван не Ландау, а... Эйнштейн. Возможно, это связано с арестом Ландау в апреле 1938 г.

Возможно, это как-то связано с подготовкой к русскому изданию «Лекций по динамике» К. Якоби, вышедшему в конце 1936 г. Общая взаимосвязь «симметрия-сохранение» (установленная Э. Нетер в 1918 г.) не вошла тогда еще в стандартный арсенал теоретиков. В частности, игнорировалось нетеровское неблагополучие законов сохранения в ОТО [171].

Ландау характеризовал его словами «невежественный борзописец» [215], Иоффе писал о «хлестких ругательствах и развязной безграмотности статей Львова, которому предоставляет свои страницы один из наиболее распространенных толстых журналов [196] (в 30-е годы почти в каждом номере «Нового мира» печатались обзоры Львова «На фронте физики»).

40

Львов защищал ЗС разными способами: например, имени Бора в его статьях не найти, а ГН он приписывал «Крамерсу, Слетеру и др.» Впоследствии, кроме физики, он защищал от идеализма также химию, биологию и все, что требовалось.

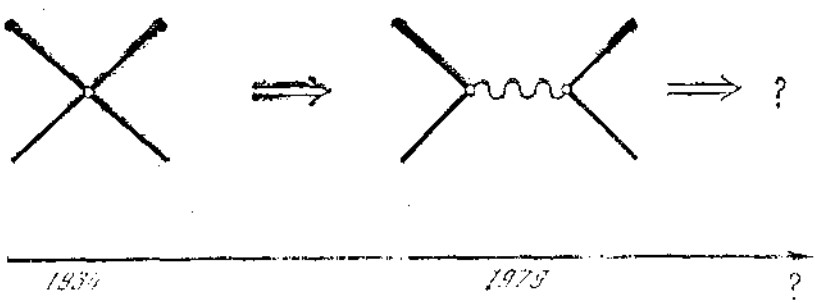
Следует отметить, что вторая статья Блохинцева и Гальперина [111], появившаяся спустя восемь месяцев, в конце 1934 г., когда стал признан успех теории Ферми, имела совсем иной характер. Здесь обсуждение не выходило за пределы физики,— когда появились физические аргументы, стали не нужны идеологические.

А еще через три с половиной десятилетия Д. И. Блохинцев уже вполне допускал нарушение закона сохранения энергии «применительно к миру элементарных частиц, особенно в области высоких энергий», и отмечал, что «подобные нарушения трудно отличить от процессов с участием нейтральных частиц» [107, с. 309]. Легко представить, какие резкие слова мог бы сказать по этому поводу 26-летний Блохинцев себе 62-летнему. А ответить на это могли бы его же «Размышления о проблемах познания...», изданные посмертно: «...общество должно... обладать достаточной верой в правоту своих идеалов, чтобы допускать рождение новых идей и мыслей, выходящих за рамки установившихся взглядов. Оно должно обладать терпением и неторопливостью в оценке новых идей» [108, с. 56]. Там же говорится, что законы сохранения энергии и импульса «абсолютно неприменимы к молодой Вселенной».

Авторы глубоко благодарны С. В. Вонсовскому, поделившемуся воспоминаниями о С. П. Шубине и представившему упомянутые документы. Идеологическую позицию С. П. Шубина отчасти можно объяснить биографическими обстоятельствами. Его отец, П. А. Шубин-Виленский (1882-1939), — юрист и журналист — работал в редколлегии «Правды» и в Коминтерне. Брат жены, Л. А. Шацкин (1902-1937), был одним из организаторов комсомола и Коммунистического Интернационала Молодежи.

Нет только никаких сомнений, что Шубин посмеялся бы над громовой отповедью, которую дал всем квантово-релятивист-ским соображениям Бронштейна уже знакомый нам научный публицист в «Новом мире»: «Но единственный практический вывод, который диалектико-материалистическое естествознание делало, делает и будет делать отсюда,- это то, что все усилия физики сейчас и в дальнейшем должны быть обращены на поиски новых, все меньших и меньших (по заряду, массе и т. д.) частиц материи, и — одновременно — на выяснение новых математических приемов, позволяющих все точнее учитывать взаимодействие между этими частицами измеряющими их микроприборами.

Так стоит вопрос. Только так стоит вопрос. Ибо *нет* и не может быть никаких границ и пределов для дробления и для



В наше время и практический успех теории Ферми объясним, и ее несовершенство более понятно. Теория была основана на представлении о локальном четырехфермионном взаимодействии, которое условно можно изобразить четырьмя линиями, пересекающимися в одной точке. В современной теории слабого взаимодействия (объединенной с электродинамикой и удостоенной Нобелевской премии 1979 г.) фермиевская четыреххвостка изменила свою форму за счет отрезка волнистой линии, соответствующей так называемому промежуточному бозону. В случаях, когда эту промежуточную линию можно считать, так сказать, достаточно короткой, фермиевская схема оказывается достаточно хорошим приближением. Успехи нынешней теории слабого взаимодействия, выразившиеся в открытии промежуточных бозонов, более впечатляют, чем успех теории Р-распа-да в 1934 г. И тем не менее физики уверены, что нынешнее состояние теории слабого взаимодействия также промежуточно и что окончательным оно станет только в единой

теории всех взаимодействий. Так что сдержанное отношение к теории Ферми задним числом оправдать еще легче. Впрочем, в подобных случаях объяснение интересней оправдания познания материи. И величайшим агностическим вздором является утверждение Бронштейна, что имеются "какие-то неизвестные причины, мешающие существованию частиц, меньших по радиусу, чем электрон"». Кончал свои оптимистически-трескучие отповеди Львов обычно лозунгами, например: «За новые граммы и тонны материи, познанной и переработанной человеческим гением!».

44

В дореволюционной России ученых степеней было три: кандидат, магистр и доктор. Магистерская диссертация соответ ствовала теперешней кандидатской и защищалась после сдачи магистерских (весьма сложных) экзаменов.

45

Не так давно появились веские основания думать, что по причинам, «очам не видным», в устройстве микромира гравитации принадлежит важная роль. А полвека тому назад в такую роль можно было только верить. Пророком этой веры был, как известно, Эйнштейн.

Статистическую природу гравитации предполагал в 20-е годы и Г. Вейль, надеясь объяснить слабость гравитационного взаимодействия огромностью числа частиц во Вселенной [170].

То, что время гравитационного высвечивания T_g имеет более чем космологическую величину, дает повод вспомнить, что в те же годы Эйнштейн размышлял над космологической проблемой. То, что для него не важна была величина эффекта, связано с тогдашним его представлением о статичности Вселенной. В статической Вселенной, существующей вечно, эффект нестабильности атомов недопустим независимо от его величины. Эту позицию, тогда вполне естественную, любопытно сопоставить с тем, что в наше время возможная нестабильность протона (характеризуемая, кстати, близкой к T_g величиной 10 лет) упоминается в нобелевских лекциях 1979 г. даже как предпочтительная [262]. Так эволюционная космологическая картина подействовала на нормы допустимого в теоретической физике.

Благодарность, которую автор выражает Паули "за многочисленные критические замечания и советы", подтверждает связь этой статьи с [159].

Было еще одно назначение этой заметки. Ее авторы не восторгались средним уровнем статей ЖРФХО (главным редактором которого был А. Ф. Иоффе) и считали, что там печатается «все что попало». Продемонстрировать это они решили «филологической» статьей. На обложке «Physikalische Dummheiten», в редколлегию которого входили авторы, красовалось соотношение: ЖРФХО = lim «Phys. Dumm.».

50

В статье [21], ссылаясь на работу Ландау и Пайерлса, Бронштейн благодарит Ландау за то, что «целый ряд идей, легших в основание настоящей статьи, почерпнул из бесед сним».

51

В 1926 г. Р. Фаулер объяснил большую плотность белых карликов тем, что они состоят из вырожденного ферми-газа; релятивистский ферми-газ в применении к теории сверхплотных звезд впервые рассматривал в 1928 г. Я. И. Френкель [290-291].

Сейчас нелегко понять отношение Ландау к менее «патологическим» источникам звездной энергии, в частности к термоядерному синтезу водорода в гелий: «Было бы очень странно, если бы высокие температуры могли помочь делу уже только потому, что помогают кое-чему в химии (цепные реакции!)». Но, желая понять физику того времени, необходимо понять и этот скепсис (см. гл. 4).

Результат отнюдь не был простым переписыванием формул Фока, и тот, рассказывая в газете «Техника» (18.3.1936 г.) о своей с Дираком и Подольским работе, отметил: «Идеи, лежащие в основе этой теории, были с успехом применены ленинградским физиком М П. Бронштейном к тяготению, причем ньютоновский закон притяжения был выведен им из представления о "квантах тяготения"».

О возможности такой связи Гамов впервые написал в 1937 г., пытаясь выжать все из идеи обменных парных сил. Поскольку взаимодействие, обусловленное обменом пар *ey,* оказалось в 10 раз слабее, чем надо для объяснения ядра, Гамов предположил, что за ядерные силы отвечает обмен парами $e+e^{\sim}$ т. е. что обменное ее-взаимодействие в 10 раз сильнее ev-взаимодействия. Отсюда следовало предположение, что существует и обменное vv-взаимодействие и что еще в 10 слабее ev-взаимодействия. Поэтому излучение пар нейтрино «ассоциировалось» с испусканием квантов гравитационного излучения [150]. И даже в 1962 г. Гамов писал [152], что «пара нейтрино могла бы дать спин 2» (т. е. гравитон). Таким образом, объяснение гравитации было побочным результатом, а электромагнетизм и геометрическая природа гравитации оставались совершенно в стороне. Такое изобретательство было чуждо Бронштейну.

55

В оригинале отсутствует «не» - явная опечатка.

Разумеется, Бронштейна занимало не только совершенство теории, но и ее оправдание. На защите диссертации В. К. Фредерикс спросил его, в чем могло бы проявиться гравитационное излучение. Бронштейн указал на эффект замедления вращения двойных звезд [173, с. 319]. Этот ответ, прозвучавший в 1935 г., стоит сопоставить с первым наблюдательным, хотя и косвенным свидетельством существования гравитационного излучения. Именно такой эффект обнаружен в 1979 г. в двойном пульсаре.

Напомним, что для Эйнштейна, строившего в 1917 г. первую космологическую модель, однородность распределения вещества была гипотезой, а малые относительные скорости звезд (!) — «самым важным из всего, что нам известно из опыта о распределении материи» [306, с. 608].

Исключение, которое нельзя не упомянуть, составлял Дирак. В 1937 г. он выдвинул весьма спекулятивный проект, ради космологии отказываясь от фундаментальных положений физики. В частности, у него гравитационная константа G стала функцией времени $G(t)$. Здесь не место обсуждать причины, по которым великий физик так далеко отошел от физики [170, 183]. Подчеркнем только, что его идея не пользовалась поддержкой коллег. И уж во всяком случае для переменной гравитационной «константы» $G(t)$ нет места на cGh-карте Бронштейна

Напомним кредо Бора - автора принципа дополнительности: «Contraria non contradictoria sed complementa sunt» (противоположности не противоречат, а дополняют друг друга).

Испанский язык он изучал, читая «Дон Кихота» в трамвае по дороге от дома (у Пяти Углов) до Физтеха. Дорога эта занимала около часа.

61

Письмо, отрывок из которого приведен, сохранила Л. К. Чуковская. Это письмо, адресованное в высшие государственные инстанции, заканчивалось просьбой «пересмотреть дело». Но сильные слова, которыми К. И. Чуковский охарактеризовал героя нашей книги, объясняются вовсе не только назначением письма «во спасение». Об этом свидетельствует запись, сделанная Чуковским в дневнике двадцать лет спустя: «Очень знакомая российская картина: задушенный, убитый талант. Полежаев, Николай Полевой, Рылеев, Мих. Михайлов, Есенин, Мандельштам, Стенич, Бабель, Мирский, Цветаева, Митя Бронштейн, Квитко, Бруно Ясенский, Ник. Бестужев — все раздавлены одним и тем же сапогом» *(Сарнов Б., Чуковская Е.* Случай Зощенко // Юность. 1988. № 8. С. 84).

62

Как-то на вопрос подростка (А. А. Козырева): «К чему следует стремиться?» — М. П. ответил с улыбкой: «Этого я не могу сказать. Надо стремиться к тому, чего очень хочется. А вот чего следует избегать, могу сказать: следует избегать инерции мысли».

63

В 1934 г. Е. Н. Канегиссер писала Р. Пайерлсу. «Дау совсем кислый... Я не знаю, что с ним делать... Правда, они теперь с Аббатом в ужасной дружбе и, по-моему, никогда не поссорятся» [224, с. 43]. Е. Н. оказалась права - Бронштейн и Ландау никогда не поссорились.

Согласно выходным данным книга сдана в производство в октябре 1937 г., уже после ареста Бронштейна, а вышла в феврале 1938 г. В конце апреля 1938 г. арестовали и Ландау, пробыл в тюрьме он ровно год. В феврале 1939 г. сдано в набор второе издание «Статистической физики», предисловие к ней датировано маем 1939 г.

Несмотря на все это, в Детгизе нашлись «ответственные» работники, изо всех сил препятствовавшие переизданию «Солнечного вещества». Препятствия исчезли только после вмешательства инструктора отдела культуры ЦК И. С. Черноуцана.

Разумеется, Бронштейну помогало то, что он и так читал практически всю физическую литературу. В частности, материал для «Лучей Икс» ему, видимо, доставался легче. Известный источник по истории открытия Рентгена - книга Глассера, изданная сначала в Германии, а затем в 1933 г. в расширенном виде в Англии [165]. Эта книга оказалась в библиотеке ЛФТИ, и первым ее читателем, как видно из формуляра, был М. П. Бронштейн. Вторым был ученик Рентгена, директор Физтеха А. Ф. Иоффе.

Собрание всех трех научно-художественных произведений М. П. Бронштейна готовится к переизданию в серии «Библиотека "Квант" в 1990 г.

Человек и природа. 1929. № 8. С. 20-25.

Человек и природа. 1929. № 16, С. 3-9.